

ISSN 0044-3948

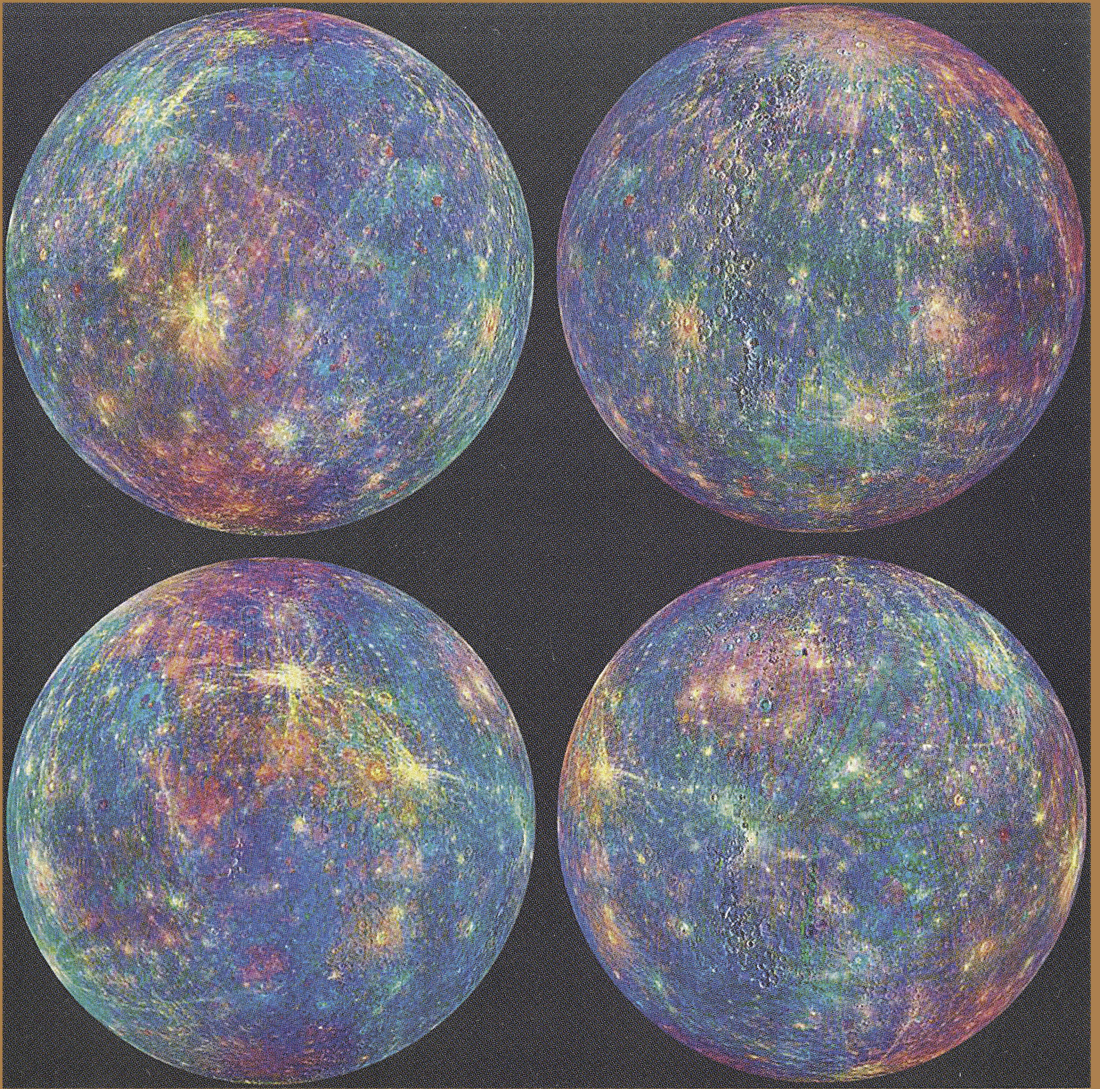
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

ИЮЛЬ-АВГУСТ

4/2016

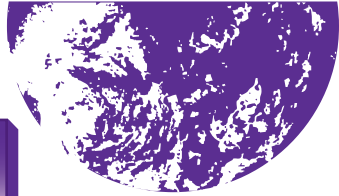




Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
“Наука”
Москва

Земля и Вселенная

4/2016



Новости науки и другая информация: Уничтожение темной материи в Галактике [17]; Выявлена причина взрыва сверхновой [49]; Экстремально горячий квазар 3C273 [50]; Солнце в феврале – марте 2016 г. [51]; Звездное скопление R136 [89]; Детали пылевого диска вокруг звезды [89]; На Юпитер упал загадочный объект [101]; Замерзшее озеро Плутона и его малые спутники [107]; Квазары замедляют звездообразование [108]; «Кассини»: горы на Титане [108]; 47-я основная экспедиция на МКС [109]

В номере:

- 3 ЧЕРЕПАШУК А.М. Гравитационные волны и черные дыры
18 ИХСАНОВ Н.Р. Взрывные переменные звезды: от полярнов до суперпропеллеров
30 АНАНЬЕВА В.И. «Мессенджер» изучает Меркурий

ЛЮДИ НАУКИ

- 54 НАГОВИЦЫН Ю.А. Рудольф Вольф (к 200-летию со дня рождения)
61 ГЕРАСЮТИН С.А. Херберт Фридман (к 100-летию со дня рождения)

ИСТОРИЯ НАУКИ

- 72 МЕНЦИН Ю.Л. Роль А.Н. Драшусова и Б.Я. Швейцера в истории Астрономической обсерватории Московского университета

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

- 80 ГАЛЕЕВ А.И., ГАВРИЛОВ М.Г. Международная астрономическая олимпиада в Казани

ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- 90 АКСЁНОВ Г.П. Косминта, ее образование и эволюция

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 102 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: сентябрь – октябрь 2016 г.



© Российская академия наук, 2016
© ФГУП «Издательство «Наука», 2016
© Редколлегия журнала
«Земля и Вселенная». Составление, 2016

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Profsoyuznaya str., 90, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of Science; popular, current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputy Editor V.M. Kotlyakov; Deputy Editor S.P. Perov

На стр. 1 обложки: Звездное скопление R136 в Большом Магеллановом Облаке. Изображение размером 650 св. лет синтезировано 17 марта 2016 г. из 30 снимков, сделанных в октябре 2011 г. KTX. Фото NASA (к стр. 89).

На стр. 2 обложки: Полушария Меркурия (широта центра полушарий – 0°, долгота меняется с шагом в 90°). Вверху слева долгота центральной точки – 270° в.д., вверху справа – 0° в.д., внизу слева – 90° в.д., внизу справа – 180° в.д. Изображения в искусственных цветах (красный – 575 нм, зеленый – 415 и 750 нм, синий – 310 и 390 нм) построены для определения минералогического состава поверхности планеты. Составлены 31 июля 2015 г. по снимкам AMC «Мессенджер». Фото JPL/NASA (к статье В.И. Анянцевой).

На стр. 3 обложки: Вверху – содержание калия в коре Меркурия по данным спектрометра нейтронов и гамма-лучей GRNS AMC «Мессенджер». Низкие значения величин кодируются синим цветом, высокие – красным, средние – зеленым и желтым. Внизу – отношение количества магния к кремнию (слева) и алюминия к кремнию (справа) в коре различных областей Меркурия. Рисунки NASA (к статье В.И. Анянцевой).

На стр. 4 обложки: Фрагмент изображения участка неба в районе созвездия Парусов, полученный Слоуновским цифровым обзором неба (DSS-2). Состоит из нескольких несвязанных объектов: оранжевых облаков областей звездообразования, синих нитей – частей остатков сверхновой. Во врезке – газопылевой диск вокруг двойной звезды IRAS 08544-4431 (4 тыс. св. лет от нас). Снимок получен 9 марта 2016 г. с помощью 8,2-м телескопа VLT Европейской Южной Обсерватории. Фото ESO (к стр. 89).

In this issue:

- 3 CHEREPASHCHUK A.M. Gravitational Waves and Black Holes
- 18 IKHSANOV N.R. Cataclysmic Variable Stars: From Polars to Superpropellers
- 30 ANANYEVA V.I. “Messenger” explores Mercury

PEOPLE OF SCIENCE

- 54 NAGOVITSYN Yu.A. Rudolf Wolf (to the 200th Anniversary of Birth)
- 61 GERASYUTIN S.A. Herbert Friedman (to the 100th Anniversary of Birth)

HISTORY OF SCIENCE

- 72 MENTSIN Yu.L. Role of A.N. Drashusov and B.Ya. Schweitzer in the History of Moscow University Observatory

SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES

- 80 GALEEV A.I., GAVRILOV M.G. International Astronomical Olympiad in Kazan

HYPOTHESES, DISCUSSIONS, SUGGESTIONS

- 90 AKSENOV G.P. Kosmint, its Genesis and Evolution

AMATEUR ASTRONOMY

- 102 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: September–October 2016

Редакционная коллегия:

главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН,
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,
зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН А.А. МАЛОВИЧКО, доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,
член-корр. РАН И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,
кандидат физ.-мат. наук О.С. УГОЛЬНИКОВ, член-корр. РАН В.П. САВИНЫХ,
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

Гравитационные волны и черные дыры

А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
академик
ГАИШ МГУ

Многолетние усилия ученых по поиску и детектированию гравитационных волн увенчались открытием огромного научного значения. 14 сентября 2015 г. на американской гравитацион-



но-волновой обсерватории LIGO был зарегистрирован гравитационно-волновой всплеск от слияния двух черных дыр. С этого момента начался новый этап в исследованиях этих объектов.

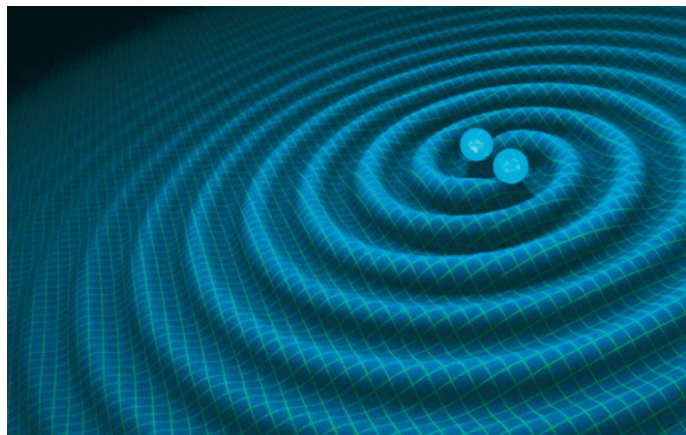
ЧТО ТАКОЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ?

Появившаяся с развитием технологий возможность работы астрономических телескопов за пределами земной атмосферы, начавшаяся после запуска 4 октября 1957 г. в СССР первого искусственного спутника Земли, позволила освоить новые диапазоны спектра электромагнитного излучения (гамма-диапазон, рентгеновский, ультрафиолетовый, инфракрасный и радиоди-

апазоны; Земля и Вселенная, 1973, № 1; 1993, № 2; 2007, № 6; 2009, № 2; 2012, № 5; 1976, № 5; 1965, № 3; 2014, №№ 4, 5; 2009, № 6; 2014, № 1; 1977, №№ 4, 5; 1994, № 1; 2008, № 4; 2005, № 3). Это привело к новым открытиям в астрономии, в частности, к открытию черных дыр в рентгеновских двойных системах.

Однако не только электромагнитное излучение несет информацию о природе небесных тел. Например, наблюдения потоков нейтрино разных

энергий от Солнца после открытия нейтринных осцилляций позволили окончательно доказать термоядерную природу выделения энергии в его недрах. К настоящему времени нейтринная астрономия активно развивается (Земля и Вселенная, 1979, № 1; 2011, № 1). Планируется продолжать наблюдение не только солнечных, но и высокоэнергичных нейтрино от вспышек сверхновых звезд, а также и процессов, происходящих в ядрах галактик.



Условная картина распространения гравитационных волн от вращающейся двойной звездной системы.

Ученые потратили много времени и сил на то, чтобы освоить принципиально новый канал информации о Вселенной, основанный на регистрации гравитационных волн (возмущения гравитационного поля, имеющие характер волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света; Земля и Вселенная, 1981, № 6). Они излучаются телами (массами), движущимися с переменным ускорением, и имеют характер поперечных волн с двумя независимыми компонентами, которые определяют два состояния поляризации волны. Гравитационные волны переносят энергию и импульс. Воздействуя на тела, они вызывают относительные смещения их частей — деформацию, на этом явлении основаны методы их поиска. Из-за относительной малости гравитационной постоянной гравитационные волны очень трудно обнаружить.

Эти волны были предсказаны Альбертом Эйнштейном в 1916 г., сразу после создания им Общей теории относительности (ОТО), в которой гравитация описывается как проявление кривизны пространства-времени (Земля и Вселенная, 2010, № 1, с. 57; 2014, № 4, с. 110).

В 1962 г. была впервые опубликована идея российских ученых М.Е. Герценштейна и В.И. Пустовойта об использовании лазерного интерферометра для регистрации гравитационных волн. В 1992 г. международная Лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) начала работы по созданию детектора гравитационных волн с беспрецедентной чувствительностью. Инициаторами создания обсерватории LIGO были американские ученые Кип Торн, Рональд Драйвер и Рай-

нер Вайсс. В LIGO работает более 1000 человек из 15 стран, из них 8 — сотрудники физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Группу российских специалистов возглавляет член-корреспондент РАН В.Б. Брагинский. В нее входят ученые из Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород), руководитель — член-корреспондент РАН Е.А. Хазанов.

В 2015 г. (то есть почти четверть века спустя после начала работ) тяжелые и многоступенчатые работы по созданию LIGO были завершены и увенчались открытием гравитационно-волнового сигнала от слияния черных дыр в двойной системе (Земля и Вселенная, 2016, № 3, с. 36). Это открытие ознаменовало новый этап в исследованиях черных дыр во Вселенной.

Обсерватория LIGO состоит из двух гравитационно-волновых антенн, расположенных на территории США и разнесенных на расстояние примерно 3 тыс. км друг от друга. Одна антенна (H1) создана в Хэнфорде (штат Вашингтон), другая (L1) – в Ливингстоне (штат Луизиана). Усилиями международного научного сообщества удалось решить сложнейшую и высокотехнологичную задачу – создать два детектора гравитационных волн H1 и L1, которые могут измерять смещения пробных тел – зеркал интерферометра весом 40 кг с точностью 10^{-19} м, что на четыре порядка меньше размеров атомного ядра. Каждая из гравитационно-волновых антенн (Земля и Вселенная, 1973, № 4) представляет собой два лазерных интерферометра, размещенных в вакуумных трубах диаметром 1,5 м и длиной 4 км, расположенных перпендикулярно друг к другу.

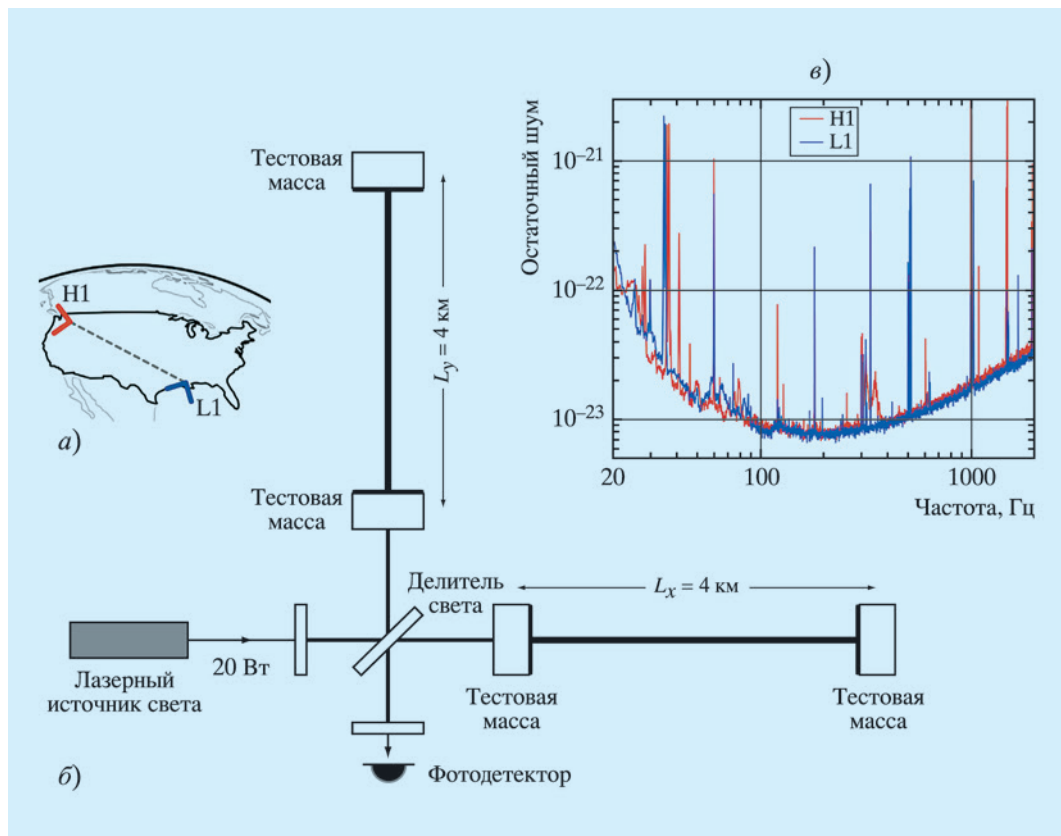
За счет применения специальной многоступенчатой системы демпфирования зеркал сейсмические возмущения подавляются на 10 порядков. Зеркала интерферометра имеют очень большую точность поверхности и чрезвычайно высокий коэффициент отражения, так что

лазерный луч испытывает около 300 отражений от зеркал без существенного уменьшения интенсивности. Итоговая длина интерферометра составляет не 4 км, а $4 \times 300 = 1200$ км, что и обуславливает огромную чувствительность результирующей интерференционной картины к ничтожно малым смещениям зеркал. Приход гравитационной волны вызывает относительные смещения зеркал, они регистрируются по изменению интерференционной картины.

В 2002 г. начались наблюдения на гравитационно-волновой обсерватории LIGO. На достигнутом тогда уровне чувствительности авторам не удалось обнаружить гравитационно-волновые сигналы из космоса. С 2010 г. начались работы по усовершенствованию обсерватории LIGO и повышению ее чувствительности. В 2015 г. ученые стали выполнять исследование гравитационных волн на усовершенствованной обсерватории LIGO – Advanced LIGO. 14 сентября 2015 г. на обеих антеннах (H1 и L1) был зарегистрирован гравитационно-волновой сигнал продолжительностью около полусекунды, который получил обозначение LIGO GW150914. Сигнал представляет собой квазисинусоидальные колебания с увеличивающейся частотой,

изменяющейся от 35 до 150 Гц в течение двух десятых секунды, и нарастающей амплитудой с последующим резким затуханием. Наблюдаемый гравитационно-волновой сигнал хорошо описывается теоретической функцией («кривой блеска»), рассчитанной в рамках ОТО А. Эйнштейна для модели слияния черных дыр (Земля и Вселенная, 1975, № 6; 1976, № 4; 1992, № 3; 1999, № 3; 2010, № 3) в двойной системе.

Соответствующие начальные массы ЧД составляют $36^{+5}_{-4} M_{\odot}$ и $29^{+4}_{-4} M_{\odot}$. При этом энергия, соответствующая трем массам Солнца, излучилась в виде гравитационных волн. Результирующая масса ЧД после слияния равна $62^{+4}_{-4} M_{\odot}$; при этом $3^{+0.5}_{-0.5} M_{\odot}$ излучилась в виде гравитационных волн. Источник гравитационных волн расположен на расстоянии 410^{+160}_{-180} Мпк от Земли, что соответствует $1.34 \cdot 10^9$ св. лет; соответствующее красное смещение равно $z = 0,09^{+0,03}_{-0,04}$. Гравитационно-волновой сигнал пришел сначала на антенну L1 и затем, на $6,9^{+0,5}_{-0,4}$ мс позднее, был зарегистрирован на антенне H1. Это позволило авторам открытия заключить (предполагая, что сигнал распространяется со скоростью света), что гравитационно-волновой сигнал пришел из области, располо-



женной на южной небесной полусфере.

Научное значение этого открытия огромно. Фактически открыт новый канал информации, который (наряду с электромагнитным и нейтринным каналами) позволяет наблюдать различные катастрофические процессы, происходящие во Вселенной – такие, как слияние белых карликов, нейтронных звезд (Земля и Вселенная, 1992, № 3) и черных дыр в двойных системах, взрывы сверхновых звезд, а также, возможно, неизвестные пока явления, например, связанные с космически-

ми струнами, доменными стенками, кротовыми норами, белыми дырами (Земля и Вселенная, 2013, № 2).

Дальнейшее повышение чувствительности гравитационно-волновых детекторов, а также создание космических гравитационно-волновых обсерваторий позволит наблюдать также различные фоновые излучения гравитационных волн, в том числе фон очень длинных гравитационных волн ($\lambda \geq 1$ Мпк), образующихся на переходных стадиях расширения Вселенной.

Принципиальная схема гравитационно-волновой обсерватории LIGO. а) расположение гравитационно-волновых антенн H1 и L1 на территории США; б) оптическая схема лазерной гравитационно-волновой антенны LIGO; в) график чувствительности антенн H1 и L1 как функции частоты принимаемого сигнала.

Сверхдлинные гравитационные волны могли формироваться, например, в конце инфляционной стадии развития Вселенной – когда ее возраст составлял около 10^{-36} с, в эпоху распада скалярного поля и обра-

зования частиц материи. Такое фоновое гравитационное излучение было предсказано в 1974 г. в ГАИШ МГУ профессором Л.П. Грищуком, который рассмотрел параметрический механизм усиления гравитационных волн в расширяющейся Вселенной.

С открытием гравитационных волн встает на прочный наблюдательный базис новая наука – геометродинамика, которая начала развиваться в начале 1960-х гг. в работах Дж.А. Уилера, К.С. Торна, В.Л. Гинзбурга, Я.Б. Зельдовича,

И.Д. Новикова и других ученых. Геометродинамика – это наука, изучающая нелинейную динамику пустого, сильно искривленного пространства-времени. Гравитационно-волновая астрономия дает нам принципиально новую возможность исследовать не только различные материальные тела – такие, как звезды, галактики, но и пустое пространство-время, которое можно теперь рассматривать как один из видов материи, свойства которой можно исследовать с помощью гравитационно-волновых телескопов.

Особенно ярко раскрываются удивительные свойства пространства-времени при взаимодействии таких

экстремальных объектов, как черные дыры.

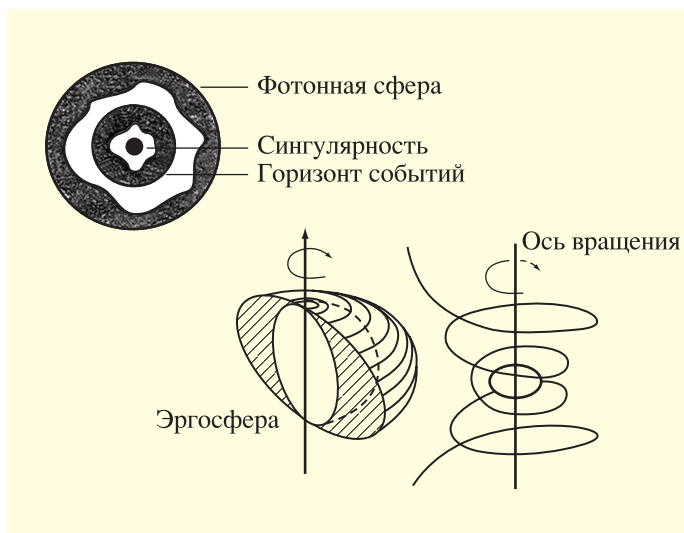
УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ ДЫР

Черные дыры образуются при коллапсах (сжатии) массивных тел. По современным представлениям, с учетом эффектов ОТО, если масса ядра звезды, затронутого термоядерными реакциями, превышает $3 M_{\odot}$, то при коллапсе ядра образуется ЧД. Если же масса ядра звезды менее $3 M_{\odot}$, то в конце эволюции звезды образуется нейтронная звезда или белый карлик (Земля и Вселенная, 1992, № 3).

Под черной дырой понимается объект (точнее, область пространства-времени), гравита-

Вид гравитационно-волновой обсерватории с высоты «птичьего полета».





Схематическое изображение черных дыр: шварцшильдовской (невращающейся) и вращающейся. Внутри фотонной сферы лучи света движутся по замкнутым траекториям. Внутри эргосферы луч света завихряет свою траекторию.

вращающейся шварцшильдовской ЧД радиус горизонта событий r_h равен шварцшильдовскому радиусу: $r_h = r_g$. Для вращающейся ЧД радиус горизонта событий меньше шварцшильдовского радиуса: $r_h < r_g$. В этом случае горизонт событий погружен внутрь эргосферы, содержащей вихревое гравитационное поле. Горизонт событий – это не твердая наблюдательная поверхность, а граница в пространстве-времени между различными сигналами, движущимися со скоростью света.

Особенности на горизонте событий, возникающие, например, в метрике Шварцшильда, могут быть устранены выбором соответствующей системы отсчета. Например, для наблюдателя, свободно "падающего" на ЧД, горизонта событий не возникает. Поэтому "свободно падающий" наблюдатель может проникнуть внутрь ЧД и "достичь" центральной сингулярности, где он будет "разорван" огромными приливными силами. Свойства горизонта событий уни-

ционное поле которого настолько сильно, что никакой сигнал (даже свет) не может вырваться из него на пространственную бесконечность; то есть вторая космическая скорость для ЧД равна скорости света в вакууме. Физической границей ЧД является горизонт событий – световая поверхность в пространстве-времени, на которой, с точки зрения далекого наблюдателя, ход времени останавливается.

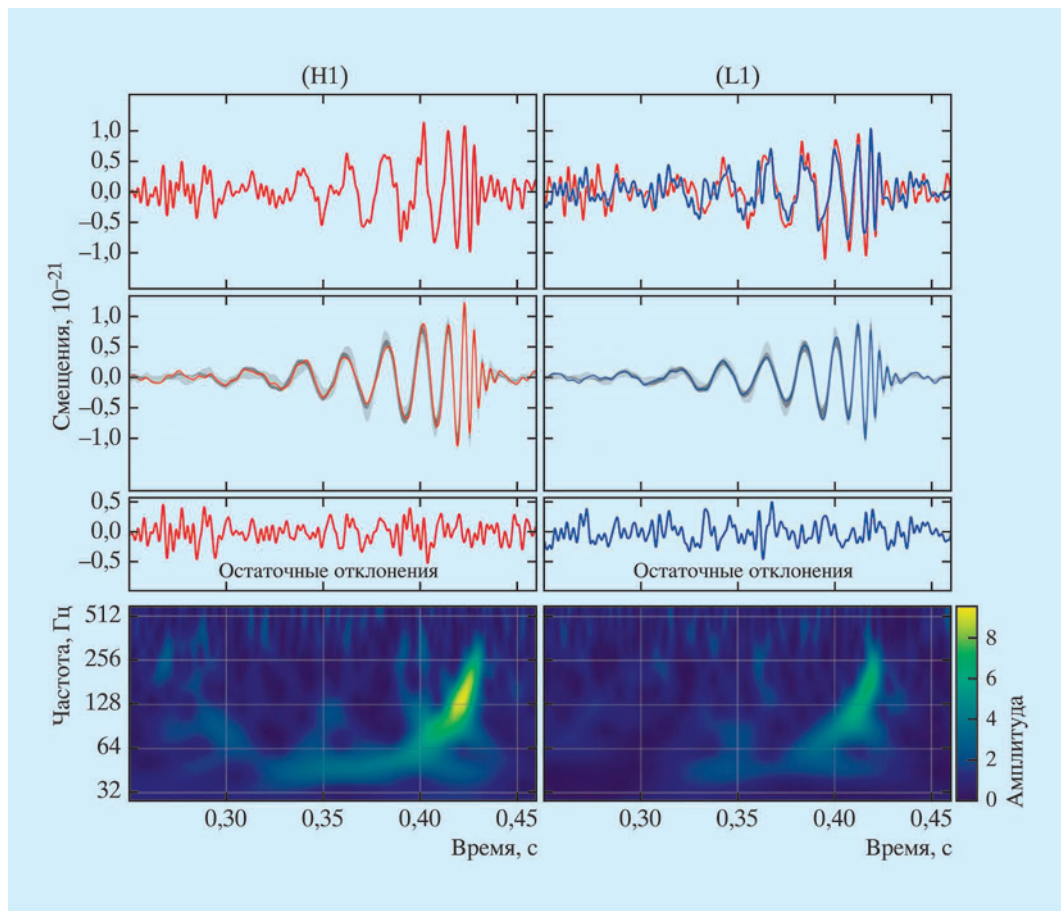
В центре ЧД находится сингулярность с формально бесконечной плотностью, куда материя сколлапсировала (в сопутствующей системе отсчета), образовав ЧД. В сингулярности царят пока неизвестные нам законы квантовой гравитации, там отсутствуют классические пространство и время. Однако, поскольку сингулярность

расположена в будущем по отношению к горизонту событий, неизвестность законов квантовой гравитации не мешает исследователям описывать горизонт событий и основную часть внутренней ЧД с помощью классической ОТО.

Характерный размер ЧД задается гравитационным (шварцшильдовским) радиусом

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}, \text{ где } M - \text{масса тела, } G - \text{гравитационная постоянная, } c - \text{скорость света.}$$

Величина шварцшильдовского радиуса $r_g = 9$ мм (для Земли), $r_g = 3$ км (для Солнца), $r_g = 90$ км (для ЧД с массой $30 M_\odot$); такие ЧД открыты по гравитационно-волновому излучению обсерваторией LIGO и $r_g = 40$ а.е. (для объекта в $2 \times 10^9 M_\odot$; такие ЧД встречаются в ядрах галактик). Для невраща-



Вид гравитационно-волнового сигнала от слияния двух черных дыр, зарегистрированного 14 сентября 2015 г. на двух гравитационно-волновых антеннах H1 (слева) и L1 (справа). На графике справа гравитационно-волновые сигналы от антенны H1 и L1 совмещены (учтена задержка 6,9 мс). Верхние графики – результаты наблюдений, в центре – сглаженные наблюдаемые сигналы с наложенными на них теоретическими «кривыми блеска» (ниже приведены остаточные отклонения наблюдаемого гравитационно-волнового сигнала от теоретической «кривой блеска», рассчитанной в рамках ОТО для слияния двух черных дыр). Внизу изображения отражают результаты частотного анализа наблюдательных данных (из статьи *Abbot et al., 2016*).

кальные. Одни из них могут уйти на пространственную бесконечность, другие не могут. Сможет ли сигнал навсегда покинуть ЧД – зависит

от области пространства-времени, которая расположена в будущем по отношению к источнику сигнала. Таким образом, движение горизон-

та событий ЧД зависит от того, что произойдет с ним в будущем (!). Эту необычную его особенность – способность «чувствовать» будущее – ученые иногда называют «телеологической» природой горизонта. Можно утверждать, что именно наличие горизонта событий отличает ЧД от обычных материальных тел (например, от нейтронных звезд), которые имеют твердую наблюдаемую поверхность. Поэтому главная задача при исследованиях

ЧД – доказать существование у них горизонтов событий. Необходимо с помощью прямых наблюдений убедиться в том, что у кандидата в ЧД нет твердой наблюдаемой поверхности, а есть именно горизонт событий. Установить отсутствие наблюдаемой поверхности у объекта значительно труднее, чем убедиться в ее присутствии – как это делается, например, в случае нейтронных звезд путем наблюдений феноменов радиопульсара, рентгеновского пульсара и рентгеновского барстера 1-го типа. Гравитационно-волновая астрономия дает нам уникальную возможность прямого доказательства наличия горизонтов событий у ЧД.

Ученые обсерватории LIGO впервые зафиксировали 14 сентября 2015 г. явление, когда две черные дыры в двойной системе слились в одну, более массивную ЧД. Причем авторам удалось наблюдать не только процесс их слияния, но и стадию затухающих колебаний горизонта событий вновь образовавшейся более массивной ЧД (стадия «ring down»). В недалеком будущем, при повышении точности наблюдений гравитационно-волновых сигналов, детальное изучение различных мод затухающих колебаний сформировавшегося общего горизонта событий на стадии «ring

down» позволит окончательно доказать наличие горизонта событий у ЧД.

ГОРИЗОНТ СОБЫТИЙ У ЗВЕЗДНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

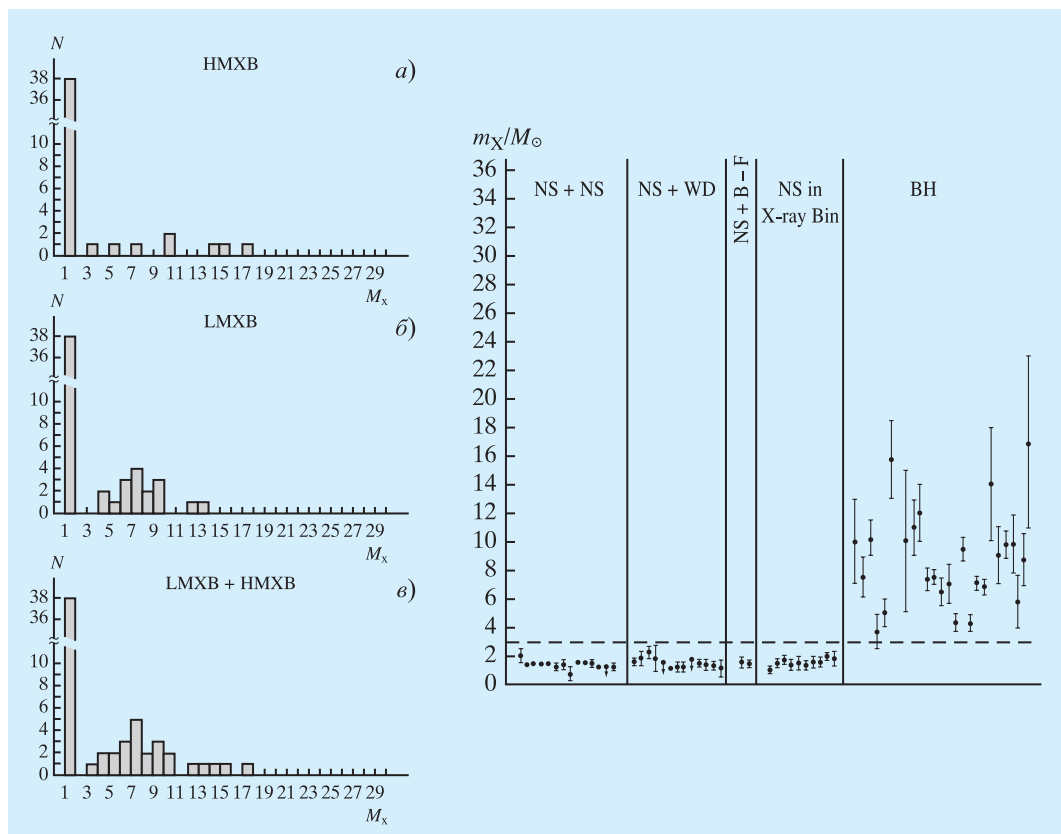
Благодаря накопленному богатому наблюдательному материалу по нейтронным звездам и черным дырам звездных масс, астрономы уже имеют веские, но, к сожалению, пока косвенные аргументы в пользу наличия у ЧД горизонтов событий.

К настоящему времени измерены массы у 27 черных дыр в рентгеновских двойных системах, которые лежат в пределах от 4 до 16 $M_{\odot}$. Массы определены по движению оптических звезд с использованием законов Кеплера. Поскольку радиусы орбит рентгеновских двойных систем в миллионы раз больше гравитационных радиусов их компонентов, то применение закона тяготения Ньютона и следующих из него законов Кеплера в данном случае вполне оправдано. Радиусы тех же 27 черных дыр оценены по быстрой переменности рентгеновского излучения, возникающего при аккреции вещества, поставляемого спутниками – оптическими звездами. Они не превышают 10 шварцшильдовских радиусов r_g .

Кроме того, к настоящему времени измерены массы 70 нейтронных

звезд в двойных системах. Все они показывают явные признаки наблюдаемой поверхности, то есть относятся к радиопульсарам, рентгеновским пульсарам или рентгеновским барстерам 1-го типа. Напомним, что феномен радиопульсара связан с быстрым осевым вращением нейтронной звезды и сильным магнитным полем, «привязанным» к ее поверхности. Феномен рентгеновского пульсара обусловлен аккрецией вещества на магнитные полюса быстро вращающейся сильно намагниченной нейтронной звезды (ось магнитного диполя не совпадает с осью вращения нейтронной звезды). Феномен рентгеновского барстера 1-го типа связан с термоядерными взрывами накопленного при аккреции вещества на поверхности нейтронной звезды со сравнительно слабым магнитным полем. Очевидно, что если бы у нейтронных звезд не было наблюдаемых поверхностей, то мы не смогли бы наблюдать у них феномены радиопульсара, рентгеновского пульсара и рентгеновского барстера 1-го типа.

Таким образом, благодаря многолетним исследованиям тесных двойных систем звезд с релятивистскими компонентами астрономы имеют сведения о массах и наблюдательных прояв-



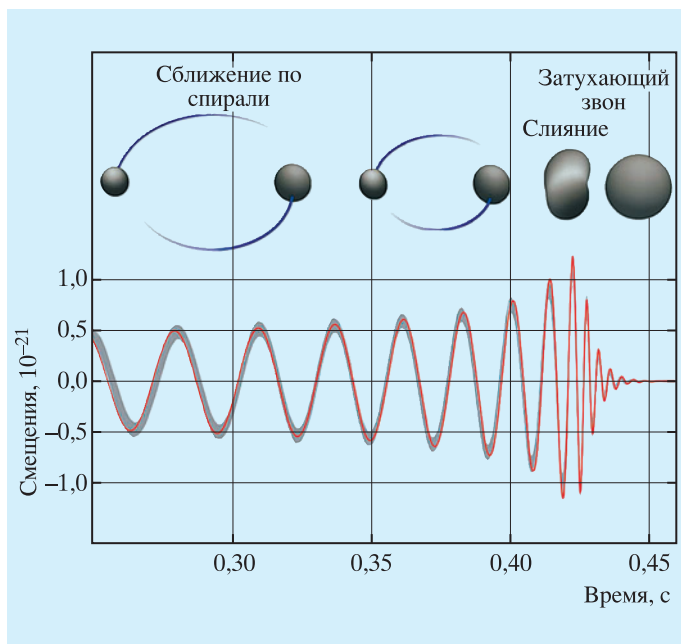
Графики распределения масс нейтронных звезд (высокий пик слева) и черных дыр в рентгеновских двойных системах (слева). Здесь HMXB обозначает массивные рентгеновские двойные (а), LMXB – маломассивные рентгеновские двойные (б). Диаграмма массы нейтронных звезд (NS) и черных дыр (BH) в рентгеновских двойных системах (справа). Массы радиопульсаров в двойных системах с нейтронными звездами – NS + NS, массы радиопульсаров в двойных системах с белыми карликами – NS + WD, массы радиопульсаров в двойных системах с невырожденными звездами – NS + B-F, массы рентгеновских пульсаров в двойных системах – NS in X-ray bin, массы черных дыр – BH. Горизонтальная пунктирная линия «отсекает» значение массы в $3M_\odot$ – абсолютный верхний предел массы нейтронной звезды, предсказанный в ОТО.

лениях около сотни релятивистских объектов (70 нейтронных звезд и 27 черных дыр). Оказывается, нейтронные звезды и черные дыры

различаются не только по массам (массы ЧД превышают $3M_\odot$, а массы нейтронных звезд не превышают $3M_\odot$ – значение верхнего предела

для нейтронных звезд). Нейтронные звезды и ЧД радикально различаются также и по наблюдаемым проявлениям, в полном согласии с ОТО. У всех 70 нейтронных звезд, показывающих признаки наблюдаемых поверхностей, масса не превышает $3M_\odot$ – абсолютного верхнего предела массы нейтронной звезды, предсказываемого ОТО.

Ни один (!) из 27 массивных компактных объектов (кандидатов в ЧД) массой более $3M_\odot$ не показывает признаков наблюдаемой поверхно-



Схематическое изображение процесса слияния двух черных дыр (вверху). Отмечены три стадии слияния: первая стадия – *inspiral* – спиральное сближение черных дыр, обусловленное излучением двойной системой гравитационных волн и соответственно потерей энергии и углового момента; вторая стадия – *merging* – собственно процесс слияния; третья стадия – *ring down* – стадия затухающих нерадиальных колебаний вновь образовавшегося горизонта событий более массивной черной дыры. В середине рисунка приведена соответствующая кривая изменения интенсивности гравитационно-волнового излучения. Из статьи Abbot et al., *Phys. Rev. Lett.* 2016, V. 116.

сти, то есть не является ни радиопульсаром, ни рентгеновским пульсаром, ни рентгеновским барстером 1-го типа. Согласно ОТО, черные дыры не имеют наблюдаемой поверхности, у них есть лишь горизонт событий – световая поверхность в пространстве-времени. Поэтому от них нельзя ожидать наличия строго периоди-

ческих пульсаций радио- или рентгеновского излучения или термоядерных взрывов на поверхности – рентгеновских барстеров. Это и наблюдается в действительности: от тяжелых ($M > 3 M_{\odot}$) компактных объектов наблюдается иррегулярная переменность рентгеновского излучения в течение около 10^{-3} с или не строго периодическая

переменность – квазипериодические осцилляции рентгеновского излучения (QPO).

Следует отметить, что, помимо описанных четких различий в наблюдательных проявлениях аккрецирующих нейтронных звезд и кандидатов в ЧД, имеются и более тонкие различия, связанные с формой и характером изменения во времени спектров их рентгеновского излучения. Они свидетельствуют о том, что нейтронные звезды обладают наблюдаемыми поверхностями, а кандидаты в ЧД ($M > 3 M_{\odot}$) ими не обладают. Все перечисленные факты для почти сотни релятивистских объектов вселяют в нас уверенность в том, что многочисленные кандидаты в ЧД действительно имеют горизонты событий.

К сожалению, пока существование горизонтов событий у кандидатов в ЧД на основе изложенных фактов нельзя считать окончательно доказанным. Дело в том, что и некоторые нейтронные звезды могут не показывать признаков наблюдаемой поверхности. Например, если ось магнитного диполя у быстро вращающейся сильно намагниченной нейтронной звезды совпадает с осью ее вращения, то феномен рентгеновского пульсара при аккреции не будет наблюдаться. В этом случае тяжелую

($M > 3M_{\odot}$) нейтронную звезду можно спутать с черной дырой.

Для доказательства существования горизонта событий необходимо пронаблюдать эффекты, специфичные для ЧД. Такими можно считать различные моды колебаний горизонта событий при слиянии двух черных дыр и характерное затухание этих колебаний после процесса слияния (стадия «ring down»). Все эти эффекты в принципе можно наблюдать с помощью современных и будущих гравитационно-волновых телескопов.

Вполне возможно, что именно на этом пути будет получено окончательное доказательство существования горизонтов событий у черных дыр; после чего, безусловно, будет присуждена Нобелевская премия за открытие черных дыр во Вселенной.

КАК ОБРАЗУЮТСЯ ДВОЙНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Гравитационно-волновой объект LIGO GW150914 продемонстрировал слияние массивных ЧД с массами в $36 M_{\odot}$ и $29 M_{\odot}$. Двойная система, породившая такие массивные черные дыры, должна состоять из очень массивных звезд массой $80\text{--}100 M_{\odot}$, которые относительно редко встречаются в галактиках. Например, в нашей

Галактике известно менее десятка двойных систем, у которых масса хотя бы одного из компонентов превышала $50 M_{\odot}$. Среди них можно отметить тесную двойную систему WR20a в созвездии Киля, состоящую из двух звезд с избытком гелия в атмосферах массами $83 M_{\odot}$ и $82 M_{\odot}$. В рассеянном скоплении NGC 3603 (созвездие Киля, 20 тыс. св. лет от нас) недавно открыта тесная двойная система с массами компонент $116 M_{\odot}$ и $89 M_{\odot}$. Так что массивные тесные двойные звезды, подходящие для образования пары ЧД с массами $29 M_{\odot}$ и $36 M_{\odot}$, хотя и очень редки, но все же существуют.

Кстати, в 1997 г. сотрудниками ГАИШ МГУ В.М. Липуновым, К.А. Постновым и М.Е. Прохоровым на основе эволюционных расчетов в рамках «Машины сценариев» было теоретически предсказано, что первыми на обсерватории LIGO должны быть открыты не сливающиеся нейтронные звезды, а именно черные дыры. Авторами было показано, что хотя частота слияния черных дыр в двойных системах существенно ниже, чем частота слияния нейтронных звезд, но при слиянии черных дыр выделяется гораздо большая энергия в виде гравитационных волн. Это позволяет регистрировать гравитационно-вол-

новые излучения с гораздо больших расстояний, чем при слиянии нейтронных звезд. Поскольку объем исследуемого пространства пропорционален кубу расстояния, то количество доступных для наблюдений сливающихся пар ЧД возрастает и, соответственно, растет вероятность их обнаружения с помощью гравитационно-волновых телескопов. При этом естественно, что из-за влияния эффектов наблюдательной селекции первыми должны открываться наиболее массивные сливающиеся пары ЧД.

Как уже упоминалось, к настоящему времени измерены массы 27 черных дыр в рентгеновских двойных системах. Из них 10 систем принадлежат к классу массивных рентгеновских двойных систем со спутниками O-B-WR-звездами массой $5\text{--}70 M_{\odot}$ и 17 – к классу маломассивных рентгеновских двойных систем, у которых спутники – маломассивные звезды поздних спектральных классов с массами $0,3\text{--}2 M_{\odot}$. Распределения масс ЧД в массивных и маломассивных рентгеновских двойных системах существенно различаются, что, по-видимому, отражает различие эволюционных путей для этих двух классов систем: массивные рентгеновские двойные системы эволюцио-

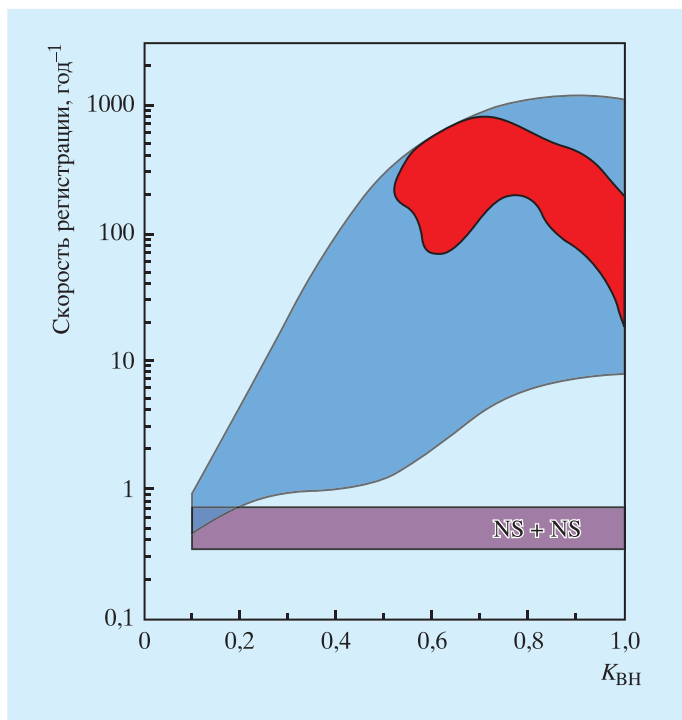


График скорости регистрации гравитационно-волновых всплесков, сопутствующих процессам слияния нейтронных звезд и черных дыр в двойных системах, рассчитанная В.М. Липуновым, К.А. Постновым и М.Е. Прохоровым с помощью «Машины сценариев». Регистрируемая частота слияния черных дыр должна быть выше, чем частота слияния нейтронных звезд, что и наблюдается в действительности. Здесь K_{BH} — доля массы звезды, которая при коллапсе ушла под горизонт событий черной дыры.

нируют, в основном, как разделенные и полуразделенные системы, а маломассивные рентгеновские двойные проходят стадию эволюции с общей оболочкой и с сильной потерей орбитального углового момента. С этим, по-видимому, связано то, что массы ЧД в маломассивных рентгеновских двойных системах концентрируются к значению примерно $8 M_{\odot}$, а массы ЧД в массивных рентгеновских двойных имеют широкое равномерное распределение.

В маломассивных системах их небольшие спутники — оптические звезды — оканчивают

свою эволюцию стадией белого карлика. Поэтому гравитационно-волновые всплески от таких систем должны быть обусловлены слиянием ЧД и белого карлика. В массивных рентгеновских двойных системах спутники — оптические звезды — формируют в конце эволюции нейтронные звезды и ЧД. Поэтому в данном случае гравитационные волны могут генерироваться от слияния двух черных дыр, нейтронной звезды с нейтронной звездой или ЧД с нейтронной звездой. К наиболее массивным рентгеновским двойным системам (по массам ЧД и оптической звезды) от-

носятся: Cyg X-1 ($M_{BH} = 14,81 M_{\odot}$, $M_v = 19,16 M_{\odot}$), LMC X-1 ($M_{BH} = 10,3 M_{\odot}$, $M_v = 30,6 M_{\odot}$), M33 X-7 ($M_{BH} = 15,55 M_{\odot}$, $M_v = 70 M_{\odot}$). Однако даже у этих весьма массивных систем параметры «не дотягивают» до параметров системы LIGO GW150914: $M_{BH} = 36 M_{\odot}$ и $29 M_{\odot}$. Следует отметить, что массивные звезды заметно теряют свою массу в процессе ядерной эволюции в виде звездного ветра (темпы потери массы $10^{-7} - 10^{-5} M_{\odot}$ в год). Это уменьшает вероятность образования очень массивных ЧД в конце эволюции массивных звезд. Поскольку механизм

Последовательность эволюционных стадий для рентгеновской двойной системы с черной дырой IC10X-1, рассчитанная с помощью «Машины сценариев». Указаны начальные и конечные массы компонент в $M_{\odot}$, расстояния между компонентами a в $R_{\odot}$ и время T , которое двойная система проводит на соответствующей стадии эволюции (в миллионах лет).

ускорения звездных ветров массивных горячих звезд связан с давлением радиации, то темп потери массы в виде ветра в данном случае зависит от непрозрачности звездного вещества: она тем выше, чем больше содержится металлов в веществе звезды. Поэтому наиболее массивные звезды в двойных системах следует ожидать в галактиках с низкой металличностью.

Наиболее подходящие объекты для формирования массивных ЧД – это водородно-гелиевые звезды населения III массой $10^2\text{--}10^3 M_{\odot}$, которые формировались на ранних стадиях эволюции Вселенной.

В 1990-х гг. выяснилось, что звездный ветер массивных горячих звезд спектральных классов WR и O имеет клочковатую, облачную структуру. Поэтому темпы потери массы этих звезд, определяемые, главным образом, по их тепловому радиоизлучению, яв-

Стадия	M		M	a	T
I + I	94,3		56,7	180	0
III + I	92,5		56,2	190	2,5
IIIe + I	60,8		60,8	180	2,5
WR + I	58,1		61,0	180	3,1
SN	52,3		61,0	190	
BH + I	26,1		61,0	270	3,3
BH + II	26,1		60,9	270	3,5
SBN + IIIs	26,1		54,5	270	3,8
CE	26,1		53,0	260	3,8
BH + WR	26,1		31,6	18	3,8
SN	26,1		28,4	19	
BH + BH	26,1		14,2	30	4,1
BH	40,3				4300

ляются завышенными в 3–5 раз.

Дело в том, что интенсивность теплового радиоизлучения пропорциональна квадрату электронной плотности. Поэтому если мы “соберем” вещество ветра звезды в отдельные многочисленные плот-

ные сгустки, то (при том же значении темпа потери массы звездой) интенсивность теплового радиоизлучения возрастет. Если интерпретировать эту интенсивность в модели однородного ветра – получим завышенное значение массы.

Уменьшение темпа потери массы для горячих массивных звезд в 3–5 раз существенно ослабляет влияние звездного ветра на эволюцию этих звезд, что благоприятствует формированию массивных ЧД даже в галактиках с относительно большой металличностью вещества.

С помощью комплекса компьютерных программ, реализующих «Машину сценариев» для тесных двойных систем, разработанных под руководством профессора В.М. Липунова в ГАИШ МГУ, можно рассчитать сценарии эволюции массивной тесной двойной системы, приводящие к формированию двух массивных ЧД и генерации всплеска гравитационно-волнового излучения.

Опишем один из таких сценариев. В начале эволюции масса первичной звезды находится в диапазоне $m_1 = 80\text{--}120 M_\odot$, масса вторичной $m_2 = 15\text{--}60 M_\odot$, начальная большая полуось орбиты системы находится в диапазоне $a = 170\text{--}200 R_\odot$. После выгорания водорода в ядре первичная звезда более массивная звезда заполняет свою критическую полость Роша. Начинается перетекание вещества на соседнюю звезду (как правило, быстрее, чем в ядерной шкале времени эволюции), а заключительная стадия перетекания происходит в шкале времени, близкой к ядерной. После потери первич-

ной звездой водородной оболочки на ее месте остается звезда Вольфа – Райе (WR), которая, взрываясь как сверхновая типа Ib/c, образует ЧД. Далее, закончив эволюцию на главной последовательности, заполняет свою полость Роша вторая звезда. После фазы сверхкритической аккреции на ЧД наступает стадия общей оболочки системы, во время которой компоненты сближаются, но не образуют объект Торна – Житков (звезду с черной дырой в центре), а оболочка нерелятивистского компонента теряется за счет передачи ей кинетической энергии орбитального движения компонентов. Образуется система, состоящая из звезды WR и ЧД (аналог двойной системы CygX-3, состоящей из звезды WR и ЧД). Далее звезда WR взрывается как сверхновая типа Ib/c, и в системе образуется вторая ЧД. Конечным результатом эволюции этой двойной системы является слияние двух черных дыр вследствие потери ими углового момента за счет излучения гравитационных волн, с образованием одиночной массивной ЧД. На конечной стадии слияния двух ЧД формируется всплеск гравитационно-волнового излучения.

Ученые спорят о том, может ли формироваться всплеск электромагнит-

ного излучения при слиянии двух черных дыр, сопутствующий всплеску гравитационно-волнового излучения. Теоретически такого всплеска от слияния двух «чистых» ЧД ожидать не приходится. Однако если в окрестностях финальной двойной системы из-за обмена масс между компонентами сохранился газ, то воздействие на него мощного гравитационно-волнового всплеска может приводить к формированию ударных волн и всплеску электромагнитного излучения.

В этой связи интересно отметить, что космическая гамма-обсерватория «Ферми» через 0,4 с после гравитационно-волнового события, имевшего место 14 сентября 2015 г., зарегистрировала слабый (на уровне трех сигм) секундный всплеск жесткого рентгеновского излучения, который, как и гравитационно-волновой всплеск, пришел из южной небесной полусферы. Специально поставленные наблюдения в других диапазонах спектра (в частности, в оптическом диапазоне – наблюдения с помощью сети роботизированных телескопов МАСТЕР в ГАИШ МГУ) не выявили электромагнитных сигналов в пределах области ошибок (площадью примерно 600 квадратных градусов) гравитаци-

онно-волнового сигнала LIGO GW150914.

КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ ЭТАП
В ИССЛЕДОВАНИИ ЧД

Итак, с открытием гравитационных волн начинается новый этап в исследованиях черных дыр звездных масс. До последнего времени астрономы изучали черные дыры в рентгеновских двойных системах и накопили ценные данные по массам этих экстремальных объектов. Сравнение этих данных с результатами исследований нейтронных звезд в двойных системах позволило сделать важный вывод о том, что нейтронные звезды и черные дыры различаются не только по массам, но и по наблюдательным проявлениям в полном

согласии с предсказаниями ОТО. В частности, удалось показать, что если компактный объект обнаруживает явные признаки наблюдаемой поверхности (является радиопульсаром, рентгеновским пульсаром или рентгеновским барстером 1-го типа), то его масса всегда не превосходит $3 M_{\odot}$ – абсолютно верхнего предела для масс нейтронных звезд, предсказанного в ОТО. Если же масса компактного объекта превышает $3 M_{\odot}$, то он всегда не показывает признаков наблюдаемой поверхности и, скорее всего, вместо наблюдаемой поверхности у такого массивного компактного объекта (кандидата в черные дыры) существует горизонт событий.

Открытие гравитационных волн от слияния черных дыр дает уникальную возможность окончательного доказательства наличия горизонтов событий у черных дыр.

Теперь ученые имеют возможность не только наблюдать черные дыры, но и экспериментировать с ними – исследовать нелинейную динамику сильно искривленного пространства-времени в процессе формирования общего горизонта событий при слиянии двух черных дыр. Это поднимает науку об исследованиях черных дыр на качественно новый уровень, что должно привести к прорыву в нашем понимании природы пространства-времени.

Информация

Уничтожение темной материи в Галактике

Ученые из Гарвардского университета предполагают, что под воздействием жесткого гамма-излучения сверхвысокой энергии, исходящей из центра Млечного Пути, происходит распад темной материи. Природа гамма-излучения до сих пор не изучена, ее проис-

хождение исследуется в том числе с помощью космической гамма-обсерватории «Ферми» (Земля и Вселенная, 2008, № 5, с. 58; 2015, № 3). По мнению астрофизиков, источниками избытка гамма-излучения в центре нашей Галактики могут быть быстро вращающиеся нейтронные звезды – миллисекундные пульсары. Более правдоподобной считается гипотеза о столкновении и распаде вимпов – гипотетически слабо взаимодействующих массивных частиц темной материи, их довольно много в непосредственной близости

от ядра Галактики. Для доказательства этой гипотезы ученым не хватало более точных сведений о распределении гамма-излучения в Галактике. Недавно им удалось разделить поступающее гамма-излучение на компоненты; это помогло определить более точное положение на небосводе источников каждого из компонент. Оказалось, что, скорее всего, вимпы распадаются в соответствии с моделью аннигиляции темной материи.

По материалам
интернет-сайтов,
31 марта 2016 г.

Взрывные переменные звезды: от полярнов до суперпропеллеров

Н.Р. ИХСАНОВ,
доктор физико-математических наук
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Взрывные переменные звезды – это тесные двойные системы, образованные красным и белым карликами. Взаимодействие этих звезд между собой создает большое многообразие вспышек. Наблюдая их излучение, мы узнаем о свойствах ма-



терии, проявляющихся при условиях, недостижимых в земных лабораториях. В статье рассказывается о том, какими извилистыми были пути формирования современных представлений об этих объектах.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

В ясную безлунную ночь нашему взору открывается картина звездного неба, своей таинственностью и величием приближающаяся к совершенству. Может случиться, что нам повезет и мы станем свидетелями явления «звезды-гостьи» или, напротив, вдруг “не досчитаемся” звезд в некоем ранее изученном созвездии. Древние летописи повествуют о том,

что счастливых, наблюдавших такие события, в истории человечества, было немало. Однако лишь в XVI в. «звезды-гостьи» стали предметом систематического исследования, получив впоследствии название «Новые» звезды, или просто «Новые».

Кропотливые поиски Новых, предпринятые астрономами в XVII в., привели к тому, что ученые получили неожиданный сюрприз. В 1638 г.

Иоганн Хольвард, профессор Университета г. Франекер (одного из старейших в Нидерландах), сообщил об открытии в созвездии Кита необычного явления, которое можно образно назвать – «звезда-частая гостья». Эта звезда, позднее названная Мира («удивительная»), регулярно с периодом примерно 11 месяцев исчезала с неба и затем появлялась вновь, демонстрируя большую амплитуду



Изображение созвездия Персея в Атласе Звездного неба польского астронома Яна Гевелия (1611–1687).

переменности блеска. Так человечество впервые доподлинно узнало о существовании переменных звезд.

В 1669 г. итальянский астроном Джеминиано Монтанари представил подробное описание переменности другой звезды, именуемой Алголь (от арабского «Аль Гуль», что можно перевести как

“призрак”, “злой дух” или “звезда демона”), находящейся в 93 св. годах от нас. Это вторая по яркости звезда в созвездии Персея ($2,12^m$), занимавшая на художественных изображениях созвездия положение «глаза» горгоны Медузы. И это отнюдь не случайно. Звезда меняет свой блеск с периодом, чуть меньшим трех суток, в течение которых примерно на 10 ч она становится заметно слабее. «Глаз» отрубленной «головы» горгоны Медузы,

которую держит Персей, словно «подмигивает». Причина такого «демонического» поведения Алголя была установлена в 1782 г. английским астрономом Джоном Гудрайком, показавшим, что эта звезда входит в состав двойной системы, в которой одна звезда периодически затмевает другую, что и вызывает эффект переменности. Став таким образом родоначальником обширного класса затменных переменных звезд, Алголь, однако, не преминул на-

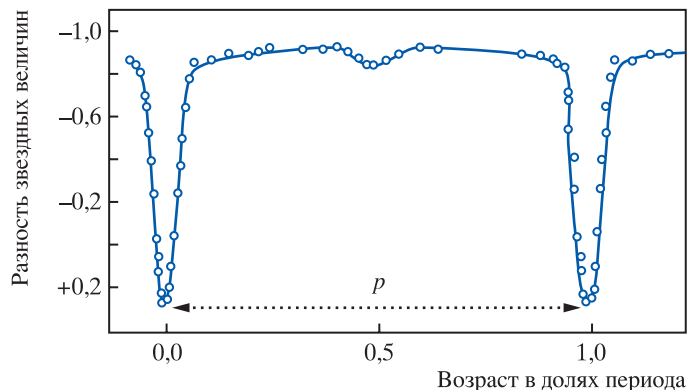


Диаграмма изменения блеска звезды Алголь в Персее в течение одного периода двойной системы.

помнить о себе и в более поздние века, внося существенную лепту в развитие представлений об эволюции звезд в тесных двойных системах.

В последующие века каталоги переменных звезд быстро расширялись, к настоящему времени в них насчитывается более 50 тыс. объектов. Предложенное во второй половине XIX в. для этих объектов двухбуквенное обозначение перед именем созвездия (RR Лиры, DQ Геркулеса, AE Водолея) очень скоро пришлось дополнить числовыми обозначениями: например, V335 Стрелы (где «V» — первая буква английского слова Variable — означает «переменная»). По характеру переменности звезды стали делить на классы, в которых выделили подкласс неправильных переменных. Блеск этих звезд изменяется без какой-либо строгой периодичности, и чем-то неправильные переменные напоминают Новые, но их

вспышки (эпизоды быстрого увеличения блеска звезды) характеризуются меньшей амплитудой и большей частотой повторяемости. Постепенно их так и стали называть «карликовые новые», «новоподобные». Спектральные исследования этих звезд указывают на то, что их вспышки сопровождаются увеличением скорости движения вещества, словно на этих звездах (или в их ближайшей окрестности) происходят какие-то катаклизмы, подобные взрывам. Вследствие этого неправильные переменные в литературе, издающейся на русском языке, стали именоваться «взрывными переменными», а англоязычные авторы используют термин «катаклизмические переменные».

ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ С БЕЛЫМ КАРЛИКОМ

Важным шагом на пути построения модели взрывных переменных стало открытие двой-

ственности этих объектов. Воспринимаемые нами как точечные объекты, они на самом деле являются системами, состоящими из двух близко расположенных звезд, с периодами, существенно меньшими суток. Сделать такое открытие на ранних этапах развития наблюдательной астрономии было непросто. Орбиты лишь очень немногих взрывных переменных расположены относительно наблюдателя «столь удачно», что одна звезда периодически «затмевает» другую; более того — если звезды в системе сильно отличаются одна от другой размерами и блеском, то увидеть такие затмения крайне затруднительно.

Ситуация стала, однако, быстро меняться с развитием спектроскопии, позволившей (наряду с определением положения звезд) измерять скорости их движения с высокой точностью. Количество звезд, двойственность которых была установлена с помощью спектрального метода (спектрально-двойные), увеличивалось столь стремительно, что стало казаться — большинство

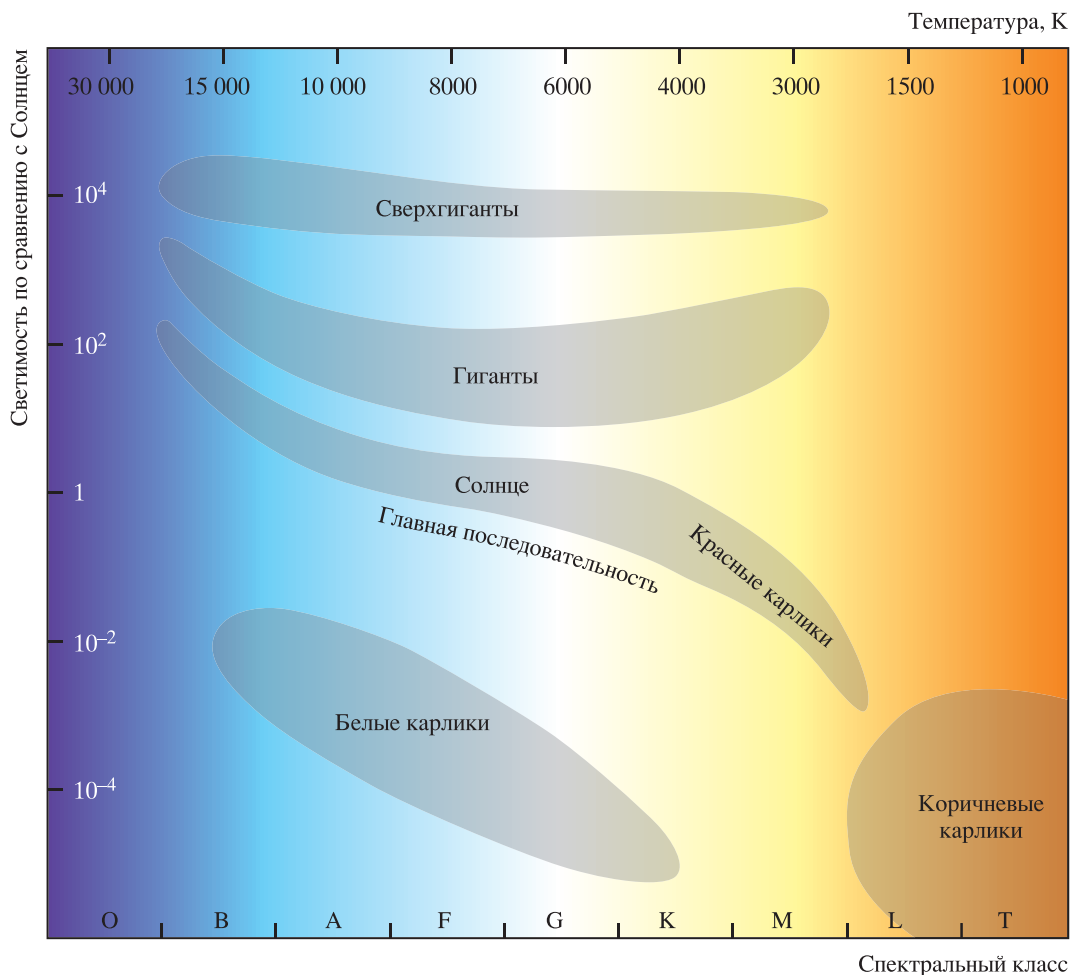


Диаграмма Герцшпрунга – Рассела (зависимость светимости звезд от температуры их поверхности).

звезд на самом деле двойные.

В силу ряда физических причин звезды действительно предпочитают «рождаться парами». Точнее – в процессе сжатия (коллапса) протозвездного облака образуется сразу несколько звезд, которые некото-

рое время наблюдаются как кратные звездные системы. Но они, в отличие от двойных пар, недолговечны. Время существования двойных систем значительно больше: оно (при определенных условиях) превосходит даже время, которое звезды, составляющие систему, проводят на Главной последовательности. Это наиболее продолжительный этап в жизни звезды, когда в ее недрах

из отдельных протонов в результате цепочки ядерных реакций синтезируются ядра гелия (альфа-частицы). Именно в таком состоянии находится сейчас наше Солнце. Длительность жизни звезды на Главной последовательности зависит, прежде всего, от ее массы. Горячие массивные звезды (голубые гиганты) эволюционируют «всего» за несколько миллионов лет, а звезды – менее

массивные, чем Солнце (красные карлики) – продолжают оставаться на Главной последовательности миллиарды лет.

По мере того, как гелия в недрах звезды становится больше, – ядерные реакции идут интенсивнее. От избытка тепла звезды начинают раздуваться, превращаясь в гиганты. Ситуация «усугубляется», когда включаются ядерные реакции с участием альфа-частиц, приводящие к формированию более тяжелых ядер (углерода, кислорода) и к интенсивному выделению энергии. В массивных горячих звездах эта цепочка может продолжаться вплоть до образования ядер железа. Затем такие звезды заканчивают эволюцию вспышкой Сверхновой, оставляя после себя красивую, быстро расширяющуюся туманность и релятивистскую компактную звезду (нейтронную звезду или черную дыру).

Менее массивные и не такие горячие звезды заканчивают свою эволюцию без столь эффектного «фейерверка». В их недрах также формируется плотное ядро, состоящее, однако, из элементов значительно легче железа, а его масса, как правило, не превосходит массу Солнца. По мере роста такого «шарика» возрастает интенсивность ядерных реакций на его поверхности. Газ, окружающий

«шарик», нагревается и давление в нем возрастает. От этого звезда «раздувается» и начинает быстро терять вещество со своей поверхности. В результате от нее остается лишь ядро – плотный горячий «шарик», называемый белым карликом, радиус которой лишь немногим превосходит радиус Земли. В таком состоянии белый карлик может существовать практически вечно: гравитационному сжатию этой звезды препятствует давление вырожденного электронного газа, которое (в соответствии с законами квантовой механики) не убывает по мере его остывания. Единственное, что может помешать «покою» белого карлика, – взаимодействие его с другими звездами.

Увидеть на небе излучение белого карлика без мощного телескопа непросто. Но, может быть, эти объекты можно обнаружить косвенным методом? – Именно так и развивалась история, а помогала все та же двойственность звезд. Изучая собственные движения Сириуса и Прокциона, немецкий астроном Фридрих Бессель обратил внимание на странную периодичность, с которой они отклоняются от прямой линии. В 1838 г. он сделал вывод о присутствии у этих звезд спутников, масса которых должна была лишь

немногим отличаться от массы Солнца. Увидеть излучение этих спутников, слабость которых при столь значительной массе вызывала недоумение, удалось лишь в 1862 г. и в 1896 г. Интрига обострилась, когда спектральные наблюдения показали, что температура поверхности едва видимых спутников превосходит температуру поверхности их ярких «компаньонов». Но тогда их размер оказывается меньше критического – при котором звезды, состоящие из идеального газа, перестают быть устойчивыми!

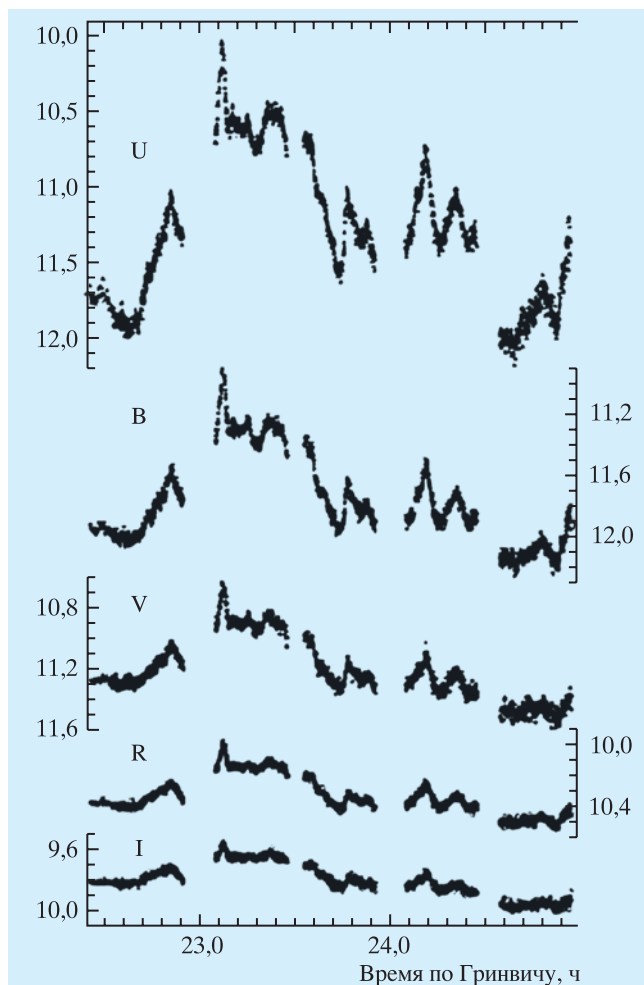
Объяснение возникшему парадоксу было дано в 1926 г. английским физиком-теоретиком Р.Г. Фаулером на основе появившейся незадолго до этого модели вырожденного электронного газа (ферми-газа). С этого времени теория белых карликов стала активно развиваться, а вместе с ней стали вырисовываться и контуры новых объектов – взаимодействующих тесных двойных с белыми карликами.

НЕОБЫЧНАЯ ПЕРЕМЕННАЯ АЕ ВОДОЛЕЯ

Все звезды, подобно людям, – индивидуальные, и каждая из них интересна по-своему. Но звезд во Вселенной очень много: в одной только нашей Галактике их порядка

Графики изменения блеска взрывной переменной АЕ Водолея, полученные в разных фильтрах: от ультрафиолетового (U) до инфракрасного (I) диапазонов спектра.

200 млрд, да и галактик во Вселенной более 100 млрд. Изучить все звезды — это как «объять необъятное». Но намного меньше классов, в которые звезды могут быть собраны по схожим признакам и качествам. В каждом классе всегда можно выбрать одну (или несколько звезд), которые наиболее удачно расположены на небе для наблюдений и проявляют основные признаки этого класса наиболее ярко. Такие объекты привлекают к себе внимание наблюдателей, а полученная ими обширная информация становится «лакомой» для теоретиков, наперебой предлагающих гипотезы о строении и эволюции этих объектов. К таким звездам относится переменная звезда АЕ Водолея (11,6^m), расположенная в 333 св. годах от нас. Изучая ее удивительные проявления в течение последних 80 лет, астрономическое сообщество уже более пяти раз вынуждено было поменять свое мнение относительно того, к какому классу объектов следует отнести эту звезду и какой

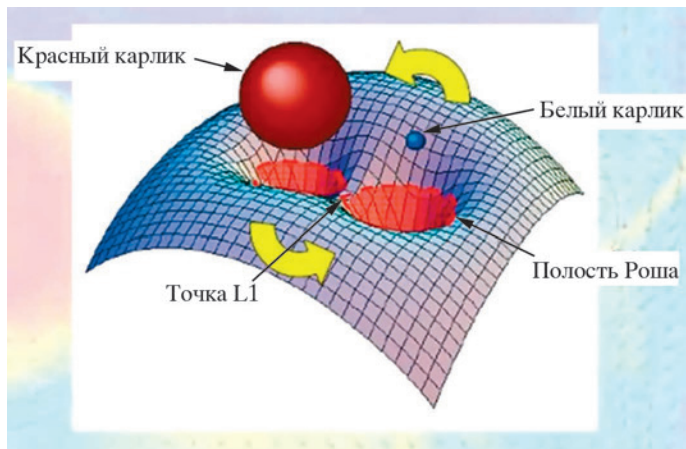


механизм лежит в основе переменности ее излучения.

Впервые о переменном характере этой звезды астрономическое сообщество узнало в 1931 г. из статьи немецкого астронома А.А. Вахмана. На первый взгляд это был типичный красный карлик, блеск которого, однако, менялся, хоть и не столь значительно (в оптическом диапазоне спектра всего на одну звездную величину).

Дальнейшие наблюдения показали, что изменения эти происходят нерегулярно, напоминая небольшие вспышки. Невооруженным глазом эта звезда на небосклоне не видна, но она достаточно яркая для наблюдений с помощью профессиональных телескопов того времени.

К началу 1949 г. АЕ Водолея уже занимала свое законное место в списке взрывных переменных среди новоподобных



Эффективный гравитационный потенциал в тесной двойной системе (потенциал Роша), образованный гравитационным полем каждого из компонентов и орбитальным вращением системы. Движение вещества между компонентами системы происходит через точку Лагранжа L1.

звезд, когда американский астроном К.Г. Хениз впервые обратил внимание на исключительно быструю переменность этого объекта: короткие вспышки длительностью всего в несколько минут происходят сериями по несколько раз за ночь, а периоды относительного покоя этой звезды длятся не более двух часов. С переменностью такого типа астрономы до 1949 г. не встречались, и поиски аналогов вспышечной активности АЕ Водолея остаются тщетными вплоть до настоящего времени.

В 1954 г. АЕ Водолея впервые оказалась в центре внимания – она стала первой в классе взрывных переменных разрешенной как спектрально-двойная система с периодом около 10 ч. Спутником красного карлика оказался горячий объект небольшого размера, масса которого сопоставима с массой красного карлика. На то

время было уже мало сомнений, что этот объект – белый карлик. Но как могло получиться, что две звезды примерно одинаковой массы вдруг оказались на столь разных этапах своей эволюции?!

С таким непростым вопросом астрономам, впрочем, уже приходилось встречаться, и причиной тому была все та же звезда Алголь. Она не только периодически «подмигивала», но и оказывалась системой, в которой горячая массивная звезда Главной последовательности соседствовала с легкой (всего $0,77 M_{\odot}$) холодной звездой, уже прошедшей стадию эволюции на Главной последовательности и «раздувшейся» до состояния субгиганта. Получалось, что «легкая» звезда прошла свою эволюцию быстрее массивной, что входило в противоречие с теорией эволюции одиночных звезд! В астрономии эта проблема из-

вестна как «парадокс Алголя».

Решение этого парадокса было предложено американским астрономом Дж. Крауфордом и состояло в том, что массы звезд, находящихся в тесной двойной системе, со временем могут существенно изменяться: звезды начинают обмениваться веществом в то время, когда одна из них, заканчивая свою эволюцию на Главной последовательности, раздувается. Дело в том, что звезды в двойной системе подобны двум примыкающим друг к другу водоемам, разделенным небольшой полоской суши: если один из водоемов «выходит из берегов», то вода устремляется к соседнему. Так происходит и со звездами в двойной системе, когда одна из них переходит на стадию гиганта.

По стечению обстоятельств первым объектом, выбранным для

проверки такого сценария, оказалась все та же АЕ Водолея. На ее примере в 1956 г. Дж. Крауфорд и Р. Крафт продемонстрировали, как и почему образуются системы, состоящие из красного и белого карликов: звезда, наблюдаемая нами как белый карлик, в предыдущую эпоху была массивнее своего «компаньона» и прошла эволюцию быстрее; затем вещество ее оболочки частично «перетекло» на звезду-соседку, а белый карлик остался «голым».

Но если так произошло с одной из звезд, входящих в двойную систему, то, вероятно, и другая звезда когда-то тоже, заканчивая свою эволюцию, вырастет в размерах, и ее вещество потечет в направлении белого карлика. Более того, поскольку система со временем начинает терять свою энергию вращения, то звезды в ней постепенно сближаются. Когда они сближатся на критическое расстояние — красный карлик выйдет из равновесия и начнет терять вещество. Удивительно, но именно на этой стадии второго обмена массой находят звезды, которые мы наблюдаем как взрывные переменные.

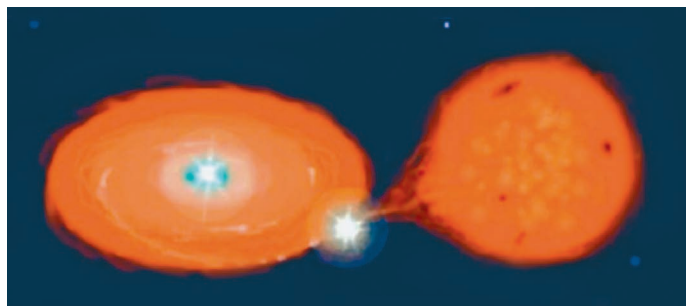
ПОЛЯРЫ
И ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПОЛЯРЫ

Бурное развитие теории аккреции (падения) вещества на компакт-

ные звезды, начавшееся в 1960-е и 1970-е гг., способствовало более энергичному развитию модели взрывных переменных. Стало понятно, что переменный характер и другие «необычные» проявления этих объектов так или иначе связаны с интенсивным течением газа от красного карлика к белому. Газ, покидающий красный карлик в форме струи, «путешествует» в поле гравитации белого карлика и, пройдя несколько преград, в большинстве случаев достигает его поверхности. Однако достичь поверхности белого карлика газовому потоку непросто, помехами являются по крайней мере три обстоятельства: первое — собственный угловой момент падающего газа, не позволяющий ему двигаться к белому карлику строго по радиусу. Струя газа как бы «промахивается мимо цели» и начинает «блуждать» в окрестности белого карлика, постепенно превращаясь в газовый диск. В диске движение газа становится упорядоченным; угловой момент газа словно «по эстафете» переходит между кольцами диска к его внешнему радиусу, а они, в свою очередь, неторопливо «сжимаются» вокруг белого карлика. Второе — собственное магнитное поле белого карлика, которое сдерживает газовый поток, позволяя ему прибли-

зиться к белому карлику лишь на расстояние Альвеновского радиуса. На этом расстоянии давление магнитного поля белого карлика достигает давления падающего газа и полностью контролирует дальнейшее движение потока вплоть до его поверхности. Третье — осевое вращение белого карлика. «Молодой» одиночный белый карлик вращается относительно медленно, с периодом около суток. Белый карлик в составе двойной системы может вращаться быстрее, период его вращения может уменьшиться (и значительно) в процессе аккреции. В силу орбитального движения звезд в системе падающий газ обладает значительным угловым моментом. Поэтому в процессе аккреции увеличивается не только масса белого карлика, но и его угловой момент. При наиболее благоприятных условиях период его вращения может со временем вплотную приблизиться к минимально возможному значению — порядка десятка секунд. Если такой белый карлик к тому же обладает достаточно сильным магнитным полем, то он будет подобен пропеллеру, отбрасывающему газ за пределы двойной системы.

Учитывая перечисленные выше обстоятельства, взрывные переменные можно разделить на четыре подкласса.



Так в представлении художника происходит процесс дисковой аккреции газа на немагнитный белый карлик. Рисунок.

Первый — немагнитные взрывные переменные: магнитное поле белого карлика в этих объектах настолько слабое, что не оказывает какого-либо противодействия аккреционному газовому потоку. В таких системах обычно образуется газовый диск, внутренний радиус которого доходит до самой поверхности белого карлика. Газ в диске испускает ультрафиолетовое и оптическое излучение, переменность которого обусловлена нестационарным характером течения газа.

Объекты второго подкласса — полярны. Это название появилось в 1977 г. и отразило тот факт, что оптическое излучение этих объектов обладает исключительно высокой степенью

круговой (и линейной) поляризации. Белый карлик в этих системах обладает магнитным полем в десятки миллионов Гаусс, период его вращения практически синхронизован с орбитальным периодом двойной системы. При этих условиях магнитное поле «берет под контроль» течение газа почти с самого основания струи, препятствуя формированию диска и «устанавливая» протяженный аккреционный канал на магнитные полюса белого карлика. Здесь кинетическая энергия падающего газа переходит в его тепловую энергию и в рентгеновское излучение, наблюдаемое космическими телескопами. Частично это излучение перерабатывается по-

верхностью белого карлика и аккреционным потоком в ультрафиолетовое, оптическое и инфракрасное излучение, которое, распространяясь в сильном магнитном поле, становится поляризованным. Причина переменности излучения этих источников — в нестационарном характере процесса аккреции.

Третий подкласс — промежуточные полярны — объединил в себе объекты, которые образно можно назвать «младшими братьями» рентгеновских пульсаров; аккреция в них происходит, однако, не на нейтронные звезды, а на белые карлики. Магнитное поле белого карлика в промежуточных полярнах достаточно сильное (около миллиона Гаусс) —

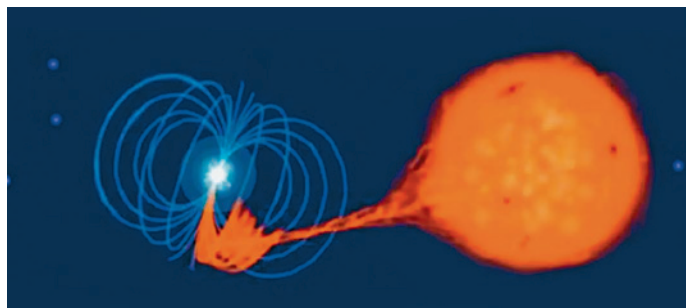
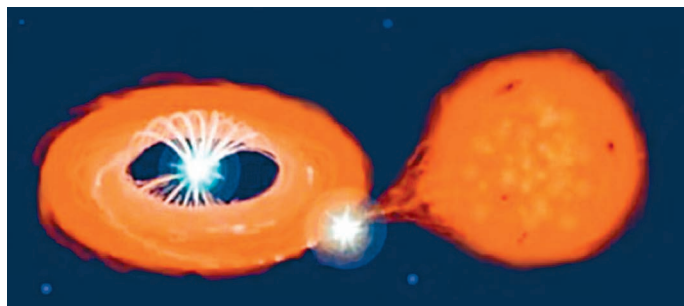


Схема каналированной аккреции в полярнах. Белый карлик, вращающийся с периодом двойной системы, обладает сильным магнитным полем, полностью контролирующим движение аккреционного потока. Рисунок.

Процесс аккреции в промежуточных полярах. Аккреционный диск доходит до границы магнитосферы белого карлика; отсюда его магнитное поле полностью «контролирует» процесс аккреции. Рисунок.



для того, чтобы сформировать магнитосферу и контролировать движение вещества в их ближайшей окрестности; однако оно намного слабее поля полярных и не препятствует образованию в этих системах аккреционного диска. Внутренний радиус диска в таких объектах соответствует Альвеновскому радиусу, откуда газ продолжает «падать» на магнитные полюса белого карлика, двигаясь вдоль силовых линий его магнитного поля. Такие объекты, подобно полярам, видны в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах. Вспышки, наблюдаемые в этих источниках, происходят вследствие изменения темпа падения газа на поверхность белого карлика, а причиной таких изменений, по-видимому, является неустойчивость течения газа в диске. К тому же многие из этих объектов демонстрируют регулярные пульсации, совпадающие с периодом вращения белого карлика; он (в отличие от полярных) значительно меньше ор-

битального периода самой системы. Прототип таких объектов – звезда DQ Геркулеса, входящая в состав тесной двойной системы с орбитальным периодом несколько часов, вспыхнувшая в 1934 г. как Новая. Некоторое время период вращения белого карлика в этой системе (примерно минута) оставался рекордно коротким среди всех объектов подкласса промежуточных полярных. В дальнейшем лидерство было оспорено все тем же AE Водолея.

Ввести в обиход четвертый подкласс и назвать его «суперпропеллерами» предложили всего четыре года назад российские астрофизики А.Г. Жилкин, Д.В. Бисикало и А.А. Боярчук. К такому выводу они пришли в результате численного трехмерного моделирования течения газовых потоков во взрывных переменных. Расчеты показали, что при быстром вращении белого карлика, обладающего сильным магнитным полем, газовые потоки оказываются неспособны не только образовать раз-

витый диск, но и вообще достичь поверхности белого карлика. Струя газа в этих системах – напротив, словно пропеллером, отбрасывается за пределы системы и постепенно рассеивается в окружающем ее пространстве. Такой результат, возможно, и не вызвал бы резонанса, если бы объект, отвечающий столь жестким и необычным критериям, оставался гипотетическим; но система, отвечающая предъявленным требованиям, к тому времени была известна и хорошо изучена – это уже знакомая нам переменная звезда AE Водолея.

СУПЕРПРОПЕЛЛЕРЫ

С самого момента открытия AE Водолея доставляла много «хлопот» астрономам, пытавшимся определить причину ее уникально быстрой переменности. Даже после того, как стало известно, что это двойная система, в которой вещество течет от красного карлика к белому, механизм переменности этой звезды оставался

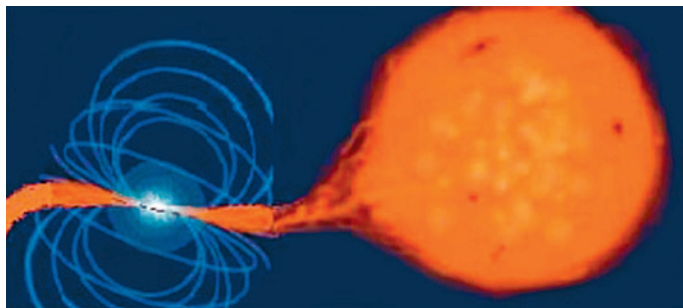


Схема движения вещества в суперпропеллерах. Струя вещества, двигаясь сквозь сильное магнитное поле быстро вращающегося белого карлика, ускоряется и покидает систему, не успев образовать диск. Рисунок.

загадкой. Продолжительное время астрономы были уверены, что причина такого поведения звезды – нестационарный характер аккреции газа на поверхность белого карлика. Особую популярность эта гипотеза приобрела в начале 1980-х гг., когда сначала в оптическом, затем и в рентгеновском диапазонах обнаружили регулярные пульсации с чрезвычайно коротким периодом – всего 33 с. Высокая стабильность этих пульсаций не оставляла сомнений, что они происходят из-за вращения белого карлика (с тем же периодом), магнитные полюса которого нагреты сильнее, чем вся его остальная поверхность.

Но на этом «сюрпризы», преподносимые АЕ Водолея, не закончились. Новой неожиданностью стало открытие излучения АЕ Водолея в радиодиапазоне. Радиоисточник оказался неожиданно ярким и переменным; по длительности и частоте вспышки были такие же, как и в видимой части спектра, но только они происходи-

ли в разное время. Кроме того, вскоре выяснилось, что радиоизлучение – не тепловое и генерируется вдали от поверхности белого карлика ускоренными релятивистскими электронами.

В течение 1990-х гг. система АЕ Водолея изучалась с помощью современных телескопов (в том числе и Космическим телескопом Хаббла). Проведены международные кампании по одновременному наблюдению этой звезды от радио- до рентгеновского диапазонов. Результаты превзошли все ожидания. Выяснилось, что аккреция вещества на поверхность белого карлика в этой системе не происходит, в ней отсутствует сколько-нибудь развитый аккреционный диск; вспышки не связаны напрямую ни с одним из карликов, а происходят в третьем источнике, расположенном, по-видимому, между ними. Вращение белого карлика регулярно тормозится, но самое удивительное – энергия вращения, которую он теряет за одну секунду, значительно превосхо-

дит энергию, которую за ту же секунду излучает система во всем диапазоне электромагнитного спектра. Единственные объекты во Вселенной, обладающие такими же свойствами, это радиопульсары – быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем.

Предположив, что сходство белого карлика в АЕ Водолея и радиопульсаров не случайно, автор этой статьи в 1998 г. предпринял попытку оценить его магнитное поле, используя те же методы, которые применяются при оценке магнитных полей радиопульсаров. Оказалось, что магнитное поле на поверхности белого карлика не меньше 50 млн Гаусс. При столь сильном поле и коротком периоде вращения (33 с) белый карлик «выметает» все вещество из системы, подобно пропеллеру. Как и радиопульсары, он должен терять энергию вращения в форме низкочастотных электромагнитных и магнитогидродинамических волн и, возможно, ускоренных

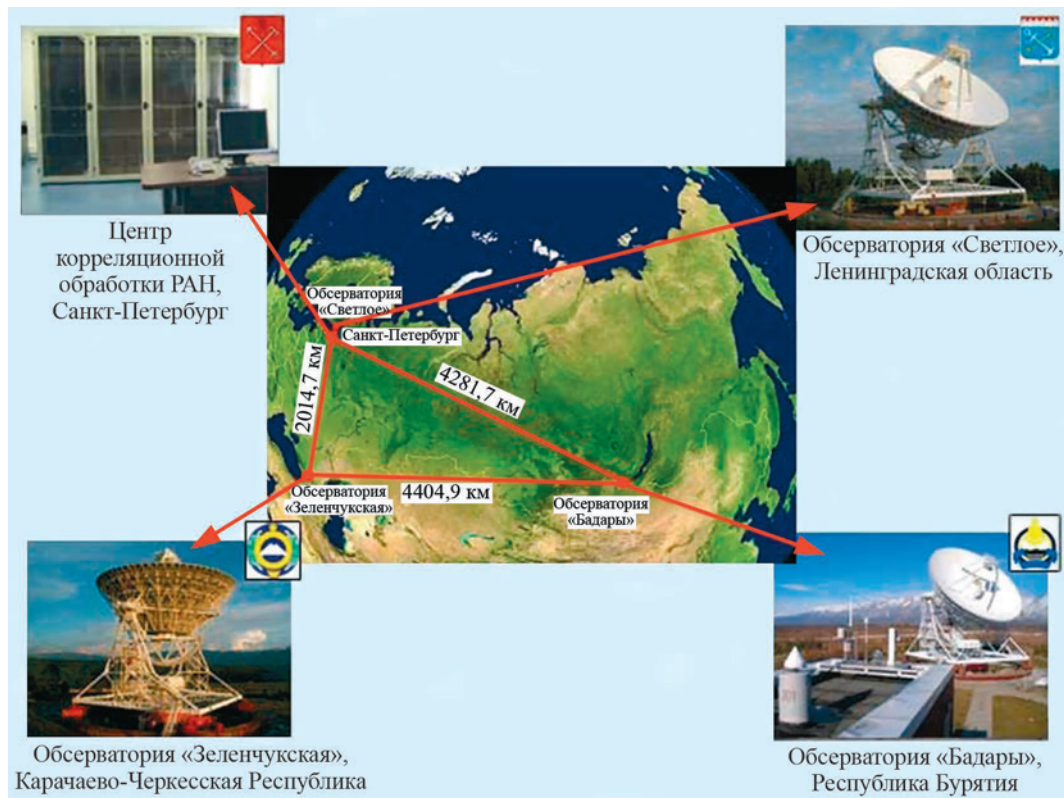


Схема расположения основных радиотелескопов в системе «Квазар» Института прикладной астрономии РАН.

релятивистских частиц. Как эта энергия преобразуется в наблюдаемые вспышки?!

В поиске решения этой проблемы, продолжающемся до сих пор, чрезвычайно важны численные эксперименты. Моделирование течения вещества в суперпропеллерах говорит о том, что движение газовой струи в магнитном поле такого объекта неустойчиво. На большом расстоянии от белого карлика течение струи про-

исходит спокойно, она даже может «свернуться» в кольцо. Так продолжается около часа. По мере «сжатия кольца» спокойная фаза, однако, заканчивается: под влиянием магнитного поля быстро вращающегося белого карлика газовое кольцо быстро «выходит» из равновесия, газ «перемещивается» со стремительно несущимся магнитным полем, ускоряется им и покидает систему. Этот процесс продолжается около двух часов и сопровождается вспышками излучения. Затем все повторяется вновь.

Какова судьба газа, покидающего систему, и что может быть причи-

ной вспышек, наблюдаемых в радиодиапазоне? — Эти вопросы до сих пор остаются нерешенными. Возможно, ситуацию прояснят наблюдения системы АЕ Водолея на радиоинтерферометрах со сверхдлинными базами: например, с помощью российской сети радиотелескопов «Квазар», входящей в состав европейских и мировых радиоинтерферометров. Результаты исследований ожидаются в ближайшее время. Возможно, эта система не заставит нас долго скучать и откроет много нового и интересного.

«Мессенджер» изучает Меркурий

В.И. АНАНЬЕВА
ИКИ РАН

К началу XXI в. Меркурий оставался одной из самых неизученных планет Солнечной системы. После пролетов в 1974–1975 гг. АМС «Маринер-10» около ближайшей к нашему светилу планеты к ней не приближался ни один космический аппарат. Меркурий до сих пор таит множество загадок. Для того, чтобы их разгадать, в августе



2004 г. была запущена американская АМС «Мессенджер», в 2011 г. ставшая первым искусственным спутником Меркурия. В течение четырех лет «Мессенджер» открыл, что Меркурий имеет необычное строение, он прошел сложную геологическую историю и проявляет активность, которая не завершилась и по сей день.

О ПЛАНЕТЕ МЕРКУРИЙ

Ближайшая к Солнцу планета Солнечной системы Меркурий известна людям с глубокой древности. Из-за большой скорости перемещения по небесной сфере ее посвятили быстроному Гермаону (Гермесу) – древнегреческому богу торговли – покровителю атлетов и путешественников. Римляне отождествляли Гермеса со своим богом торговли

и вестником богов Меркурием.

Наблюдать Меркурий трудно из-за малых размеров и близости к Солнцу. Любители астрономии могли наблюдать 7 мая 2003 г. и 8 ноября 2006 г. редкое астрономическое явление – транзиты Меркурия по диску Солнца – даже в бинокль; ближайшие прохождения состоятся 9 мая 2016 г., 11 ноября 2019 г. и 13 ноября 2032 г. Планета не удаляется от дневного светила более, чем

на $28,3^\circ$, а ее угловой диаметр меняется от $4,5''$ до $13''$. Удобнее всего наблюдать Меркурий в низких широтах в моменты западной или восточной элонгации, когда он удаляется от Солнца на максимальное угловое расстояние. Из-за вытянутости орбиты Меркурия это расстояние может меняться от 18° до $28,3^\circ$.

Меркурий обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите с большой полуосью –



Меркурий. Снимок получен 29 сентября 2009 г. АМС «Мессенджер» во время третьего пролета около Меркурия (разрешение – 5 км). Фото NASA.

0,3871 а.е. (57,91 млн км) и эксцентриситетом 0,2056; делает один оборот за 87,969 земных суток. Расстояние между планетой и Солнцем меняется от 0,3075 а.е. в перигелии до 0,4667 а.е. – в афелии, то есть в 1,5 раза. Долгое время считалось, что период вращения Меркурия равен орбитальному и что Меркурий все время повернут к Солнцу только одной стороной, как Луна к Земле. Лишь

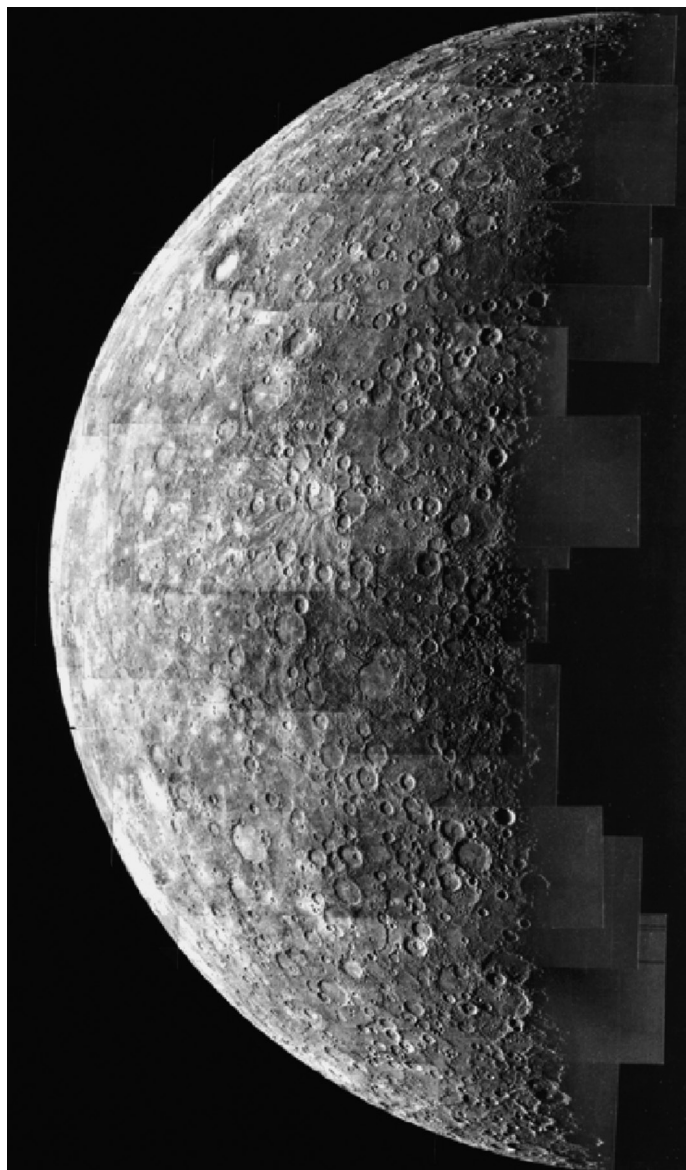
в 1960-х гг. выяснилось, что это не так. Радиолокационные наблюдения Меркурия показали, что один оборот вокруг своей оси планета делает за 58,646 земных суток (или $2/3$ меркурианского года). Таким образом, солнечные сутки на Меркурии длятся 175,97 земных суток, что составляет два

меркурианских года, или трое звездных суток.

Первая планета Солнечной системы – не только ближайшая к Солнцу, но и самая маленькая. Радиус Меркурия составляет всего 2439,7 км – это меньше, чем радиус крупнейшего спутника Юпитера Ганимеда (2634 км). Масса



АМС «Маринер-10». Рисунок NASA.



Меркурий. Мозаика, составленная из 18 снимков АМС «Маринер-10», сделанных во время первого пролета у Меркурия 29 марта 1974 г. за 6 ч до момента максимального сближения. Разрешение снимков – около 2 км. Кратер со светлым дном, окруженный кольцом темного материала у верхнего левого края диска планеты, – 160-км кратер Лермонтова. Фото NASA.

ния Венеры и Меркурия с пролетной траектории полета (Земля и Вселенная, 1975, № 2, с. 36–37; 1975, № 5, с. 73; 1976, № 1). 29 марта 1974 г. «Маринер-10» впервые пролетел мимо Меркурия на расстоянии 703 км. Глазам ученых представила планета, больше всего напоминающая Луну – лишенная атмосферы, обильно усыпанная ударными кратерами. Из-за соразмерности между орбитальными периодами Меркурия и «Маринера-10» последний пролетел мимо планеты еще два раза – 21 сентября 1974 г. на расстоянии 48 тыс. км и 16 марта 1975 г. – в 327 км. По снимкам, полученным станцией, была составлена карта почти 45% поверхности Меркурия. Кроме ударных кратеров, «Маринер-10» обнаружил на его поверхности систему протяженных уступов – эскарпов, – образовавшихся в результате глобального сжа-

Меркурия равна $3,301 \times 10^{23}$ кг (0,055 $M_{\text{З}}$, или 4,49 $M_{\text{Л}}$). Его средняя плотность достигает $5,427 \text{ г/см}^3$ (или 98,4% от средней плотности Земли). Такая высокая для небольшой планеты средняя плотность означает, что в составе Меркурия велика доля же-

леза, а каменных пород сравнительно немного.

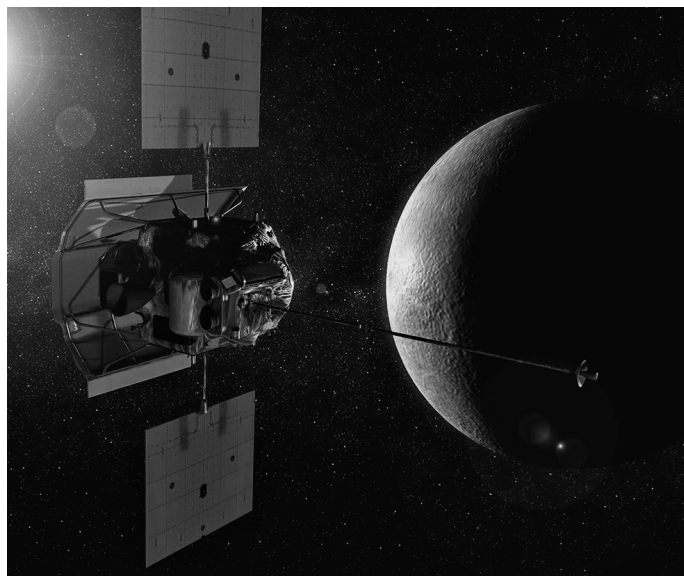
До середины 1970-х гг. Меркурий оставался загадочным и совершенно неизведанным миром. Первый запуск к нему состоялся в ноябре 1973 г. Американская АМС «Маринер-10» предназначалась для изуче-

АМС «Мессенджер» на орбите вокруг Меркурия в представлении художника. Рисунок NASA, Университет Джона Хопкинса.

тия планеты. Аппарату также удалось измерить магнитное поле, которое оказалось примерно в сто раз слабее земного. После этого более чем на 30 лет Меркурий снова остался «в одиночестве».

УСТРОЙСТВО АМС «МЕССЕНДЖЕР»

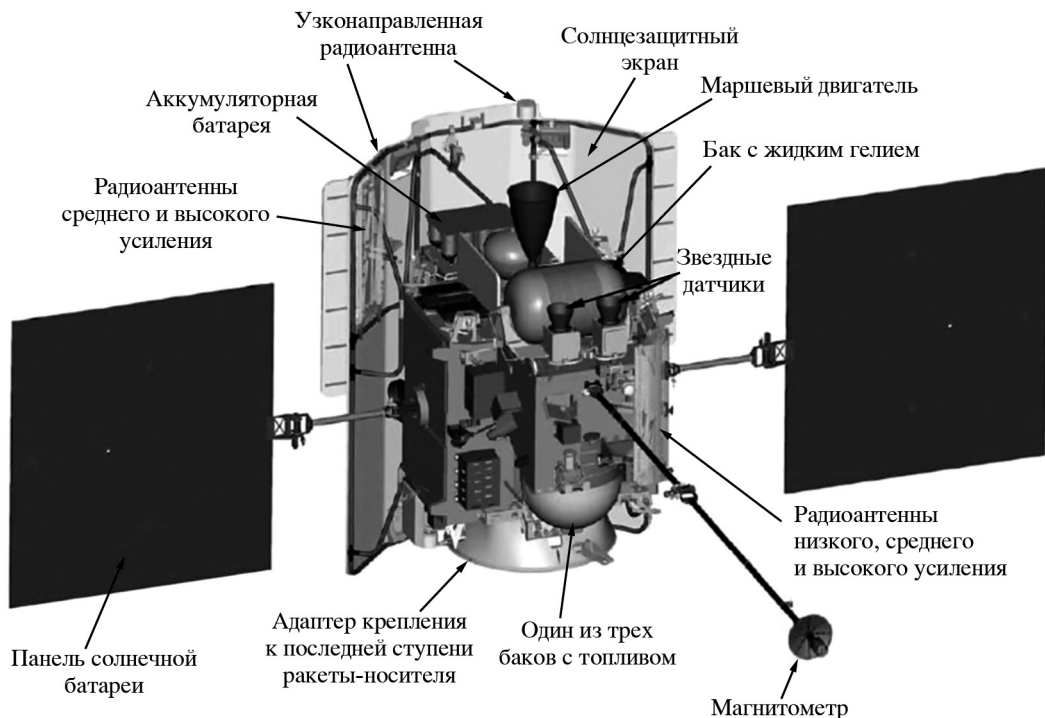
Результаты исследования Меркурия с помощью АМС «Маринер-10» дали больше вопросов, чем ответов. Остались неотснятыми чуть менее 60% поверхности Меркурия, по-прежнему оставался неизвестным состав поверхности, внутреннее строение планеты и ее эволюция. В чем причина столь высокой плотности Меркурия? Велика ли доля летучих в его коре? Есть ли на полюсах планеты залежи водяного льда? Продолжается ли тектоническая активность, или она угасла миллиарды лет назад? Какова структура магнитного поля и как магнитосфера взаимодействует с солнечным ветром? Для того, чтобы ответить на эти вопросы, нужен был новый космический аппарат – причем такой,



чтобы исследовал планету не с пролетной траектории, а с орбиты искусственного спутника.

Американская АМС «Мессенджер» («Messenger» – посланник; MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging – поверхность, космическое окружение, геохимия и зондирование Меркурия) была спроектирована специально для работы в жестких условиях космического пространства в окрестностях этой планеты. Так, например, мощность солнечного излучения на орбите Меркурия вблизи перигелия в 10,6 раза выше, чем на орбите Земли. Стартовая масса АМС «Мессенджер» достигала 1100 кг, из них почти 600 кг из них приходилось на топливо (Земля и Вселенная, 2004, № 6, с. 108; 2005,

№ 2, с. 64–66; 2008, № 3, с. 107; 2009, № 2, с. 86–88; 2010, № 2, с. 25–27; 2011, № 4, с. 33–34; 2012, № 2, с. 41; 2015, № 1, с. 44–45). Корпус аппарата размерами $1,42 \times 1,85 \times 1,27$ м был изготовлен из углепластика; обращенная к Солнцу сторона АМС прикрывалась солнцезащитным экраном размером $2,5 \times 2$ м; корпус укутан в многослойную теплоизоляцию, для отвода тепла использовались радиаторы и тепловые трубки. Источником энергии для станции служили две односторонние поворотные панели солнечных батарей размером $1,5 \times 1,65$ м, фотоэлектрические преобразователи изготовлены на основе арсенида галлия, 2/3 площади панелей занимали небольшие зеркала, которые отражали большую часть



солнечных лучей и не давали панелям перегреваться. На этапе межпланетного перелета солнечные батареи вырабатывали 385–485 Вт электроэнергии, на орбите Меркурия – 640 Вт. Для обеспечения работоспособности станции в те моменты, когда он входил в тень Меркурия, была предусмотрена аккумуляторная водородно-никелевая батарея емкостью 23 А·ч.

Двигательная установка станции включала в себя двухкомпонентный маршевый двигатель с тягой 68 кгс для основных маневров и 16 малых однокомпонентных жидких реактивных двигателей для небольших коррекций. Горючее (гидразин) и окисли-

тель (тетраоксид азота) хранились в трех титановых баках диаметром 56 см и длиной 104 см; находившийся под высоким давлением гелий обеспечивал их подачу в двигатели.

В систему связи «Мессенджера» входили две фазированные антенные решетки высокого усиления, две веерные антенны среднего усиления и четыре антенны низкого усиления. Для надежности все радиоантенны были закреплены неподвижно. Передачу данных с аппарата на Землю обеспечивал 11-ваттный радиопередатчик, работавший в X-диапазоне; скорость передачи данных менялась от 9,9 бит/с до 104 кбит/с; команды на космический аппарат

Размещение бортовых систем и научной аппаратуры на АМС «Мессенджер». Вид со стороны двигательного отсека. Рисунок NASA.

с Земли шли со скоростью от 7,8 до 500 бит/с.

«Мозгом» аппарата стали два модуля интегрированной электроники IEM (основной и резервный), каждый из которых включал в себя радиационно стойкий процессор RAD6000 с тактовой частотой 25 МГц и аналогичный процессор для защиты от сбоев с тактовой частотой 10 МГц. В состав каждого IEM также входило твердотельное запоминающее устройство с памятью

до 1 Гбайт. Многократное дублирование систем и применение радиационно стойкой электроники позволило «Мессенджеру» выдержать высокий уровень радиации в окрестностях Меркурия и успешно функцио-

нировать в течение четырех запланированных сроков.

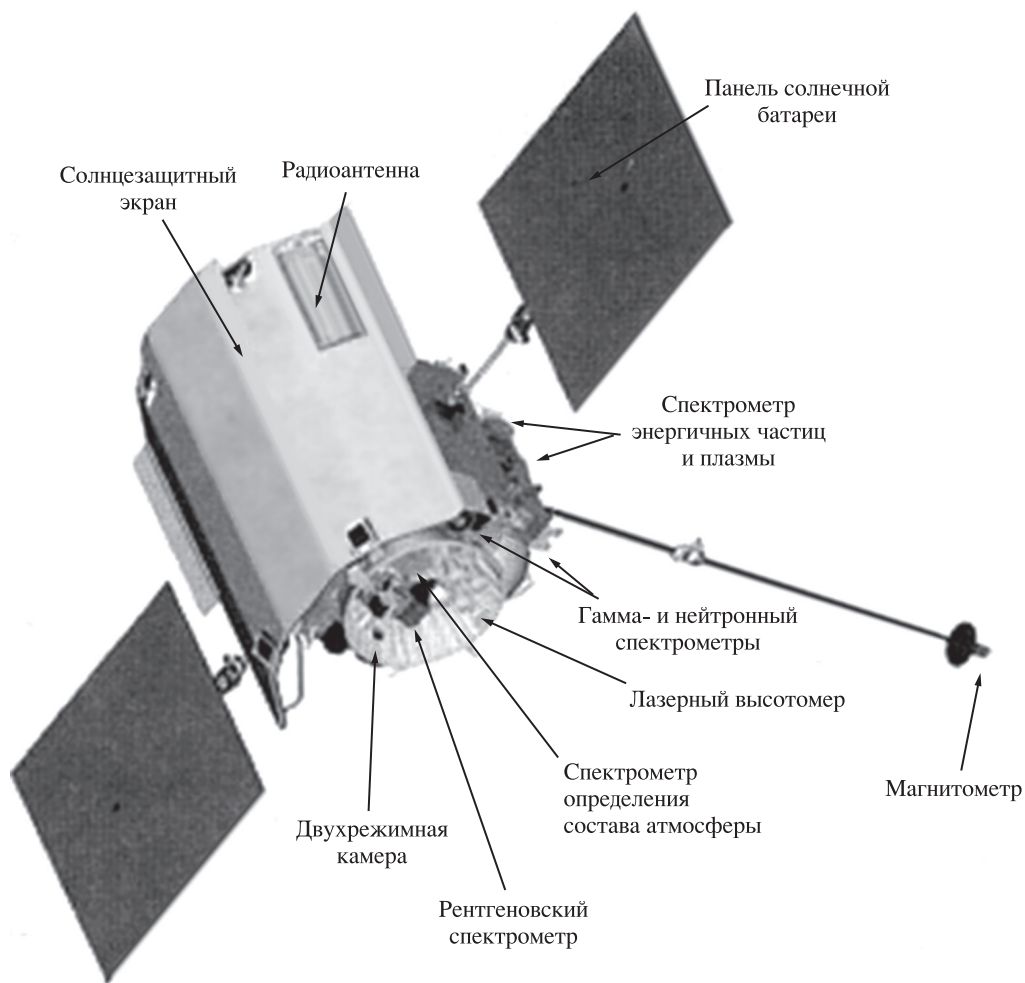
НАУЧНЫЕ ПРИБОРЫ «МЕССЕНДЖЕРА»

Для всестороннего изучения ближайшей к Солнцу планеты на борту «Мессенджера» находилось семь научных приборов массой 42,5 кг.

Двухрежимная система построения изображений MDIS включала в себя широкоугольную

и узкоугольную камеры для детальной съемки поверхности Меркурия. Широугольная камера с полем зрения $10,5^\circ \times 10,5^\circ$ и чувствительностью 295–1040 нм (от ближнего УФ-диапазона до ближнего ИК-диапазона) была снабжена 11 светофильтрами, пропускающими лучи с разной длиной волны. Узкоугольная камера имела поле зрения $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ и получала с высоты 200 км черно-белые снимки с

Размещение бортовых систем и научной аппаратуры на АМС «Мессенджер». Вид со стороны солнцезащитного экрана. Рисунок NASA.



разрешением до 130 м. В рамках расширенной миссии (когда «Мессенджер» пролетал на малой высоте над поверхностью Меркурия) разрешение некоторых снимков достигало 4–7 м на пиксель.

Спектрометр нейтронов и гамма-лучей GRNS регистрировал нейтроны и гамма-лучи от ядер атомов на поверхности Меркурия, испускаемые ими под действием космических лучей, а также при естественном излучении радиоактивных элементов. Инструмент определил содержание в коре Меркурия водорода, магния, кремния, кислорода, железа, титана, натрия и кальция.

Спектрометр рентгеновских лучей XRS исследовал элементный состав самого верхнего (толщиной 1 мм) слоя поверхности Меркурия. Инструмент фиксировал рентгеновское излучение в диапазоне 1–10 кэВ, где расположены линии магния, алюминия, кремния, серы, кальция, титана и железа. Один из детекторов инструмента фиксировал рентгеновское излучение Солнца.

Магнитометр MAG предназначался для изучения магнитного поля Меркурия, его структуры и динамики; прибор был вынесен на 3,6-м штанге – для того, чтобы замеры не искажались под воздействием собствен-

ного магнитного поля космического аппарата.

Лазерный альтиметр MLA измерял высоты рельефа поверхности для построения точной топографической карты Меркурия. Прибор испускал импульсы лазерного излучения с длиной волны 1064 нм и определял расстояние до выбранной точки, измеряя время возврата отражения каждого посланного импульса. На расстоянии 1500 км от Меркурия точность определения высот на его поверхности составила 30 см.

Спектрометр для излучения атмосферы и поверхностных пород MASCS включал в себя спектрометр ультрафиолетового и видимого диапазонов для изучения состава эфемерной атмосферы Меркурия (пространственное разрешение на лимбе планеты – 25 км) и спектрограф видимого и инфракрасного диапазонов для поиска на поверхности планеты силикатных пород, богатых железом и титаном (оливинов, пироксенов и ильменита). Наилучшее пространственное разрешение инфракрасного спектрографа – 3 км.

Спектрометр плазмы и энергичных частиц EPS измерял распределения заряженных частиц в магнитосфере Меркурия по энергиям и элементному составу; состоял из двух отдельных приборов – спектрометра

энергичных частиц EPS и высокоскоростного спектрометра плазмы FIPS.

Кроме того, фиксируя на Земле доплеровский сдвиг частоты радиосигналов, приходящих от «Мессенджера», исследователи могли очень точно измерять его лучевую скорость. Это, в свою очередь, помогло с высокой точностью изучить гравитационное поле планеты и показать, что в ее недрах находится крупное жидкое ядро.

ПОЛЕТ «МЕССЕНДЖЕРА»

Близость Меркурия к Земле приводит к неверному выводу, что к нему можно быстро добраться. Однако это сложнее сделать, чем долететь до Плутона. Для того, чтобы приблизиться к меркурианской орбите, АМС должна погасить значительную часть орбитальной скорости Земли – 30 км/с. Этого мало – падая к Солнцу в его поле притяжения, она наберет значительную скорость, которую тоже надо будет погасить, чтобы выйти на орбиту вокруг Меркурия. В настоящее время ни один космический аппарат не способен на прямой перелет к Меркурию, поэтому применялась сложная траектория полета, включающая в себя многочисленные гравитационные маневры.

На пути к Меркурию АМС «Мессенджер» при-

шлось изрядно «петлять» по внутренней части Солнечной системы. Станция стартовала 3 августа 2004 г. с космодрома ВВС США на мысе Канаверал с помощью РН «Дельта-2». Через год, 2 августа 2005 г., «Мессенджер» вернулся к Земле, пролетев мимо нее на расстоянии 2347 км и отдав ей часть своей орбитальной скорости. Первый гравитационный маневр в поле притяжения Венеры состоялся 24 октября 2006 г.; тогда аппарат пролетел от нее в 2992 км; во время второго – 5 июня 2007 г. – в 338 км. Каждый пролет около планет понижал перигей и апогей орбиты станции, понемногу приближая ее к Солнцу. Наконец настала очередь гравитационных маневров в поле притяжения Меркурия. Первый раз «Мессенджер» пролетел мимо Меркурия 14 января 2008 г., сблизившись с ним до расстояния 203 км, второй раз – 6 октября 2008 г. (до 200 км), в третий раз – 30 сентября 2009 г. (до 228 км). 18 марта 2011 г. станция на 15 мин включила маршевые двигатели на торможение и вышла на высокоэллиптическую орбиту вокруг Меркурия высотой в перигентре 200 км, в апоцентре – 66 тыс. км. Во время этого маневра был потрачен 31% запаса топлива, имевшегося на борту; приращение скорости за счет работы

двигателей составило 861,6 м/с. Полет к Меркурию занял 6,5 лет – всего на три года меньше, чем полет к Плутону АМС «Новые Горизонты» (Земля и Вселенная, 2006, № 3, с. 108–109; 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20). За это время «Мессенджер» преодолел 7,9 млрд км и сделал 15 витков вокруг Солнца.

ОРБИТА ВОКРУГ МЕРКУРИЯ

Орбита, на которой оказался земной «посланник», проходила над терминатором планеты (границей между дневным и ночным полушариями) и отличалась высоким эксцентриситетом. В перигентре «Мессенджер» приближался к Меркурию на расстояние 207 км, в апоцентре – удалялся до 15 тыс. км. Наклонение орбиты к экватору планеты составило 82,5°, орбитальный период – 12 ч. В дальнейшем орбита «Мессенджера» эволюционировала как под действием приливных сил Солнца, так и в результате регулярных коррекций траектории, проводимых операторами миссии и обеспечивающих ученым наилучшие условия для проведения исследований. В первые два года работы возмущение орбиты со стороны Солнца приводило к увеличению высоты перигентра АМС; регулярные коррекции – напротив – уменьшали

ее вновь до 200 км. Точка максимального сближения находилась на 60° с.ш.

Основная программа исследований АМС «Мессенджер» была рассчитана на двое меркурианских солнечных суток (примерно на один земной год). Вначале планировалось, что она завершит работу 17 марта 2012 г. Однако станция продолжала находиться в прекрасном техническом состоянии, научные приборы приносили новые результаты, поэтому время функционирования «Мессенджера» увеличили. В дальнейшем его работу продлевали еще несколько раз.

В апреле 2012 г. «Мессенджер» перешел на 8-часовую орбиту вокруг Меркурия. Находясь на этой орбите, станция приближалась к Меркурию на 278 км в перигентре и удалялась на 10 314 км в апоцентре; наклонение орбиты к экватору планеты составило 84°. Переход на новую орбиту позволил «Мессенджеру» пролетать над северной околополярной областью Меркурия, где, как предполагалось, в глубоких полярных кратерах, скрытые от прямых солнечных лучей вечной тенью, находятся залежи водяного льда.

В 2013 г. взаимное расположение Меркурия, Солнца и орбиты «Мессенджера» стало таково, что приливные силы

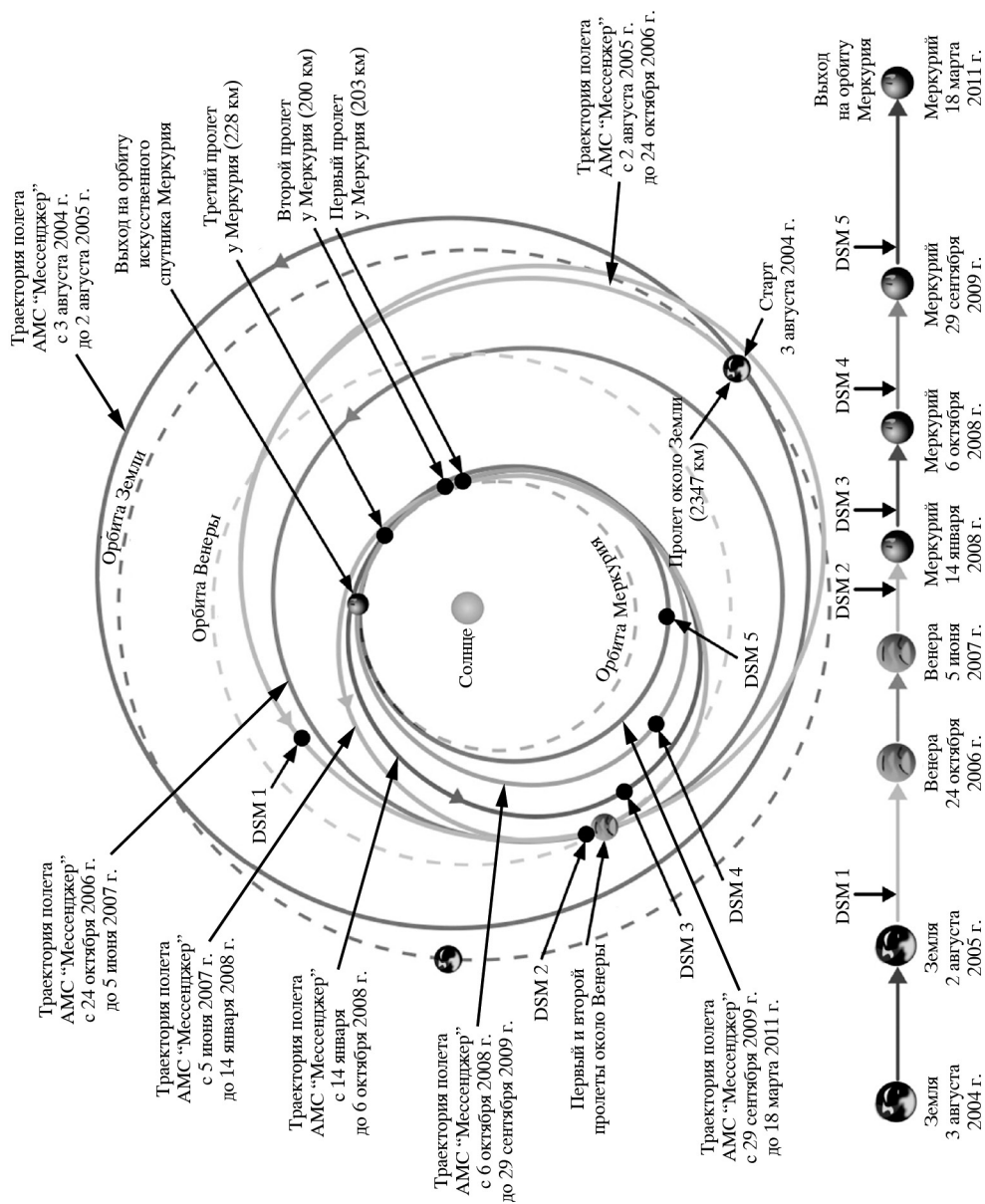
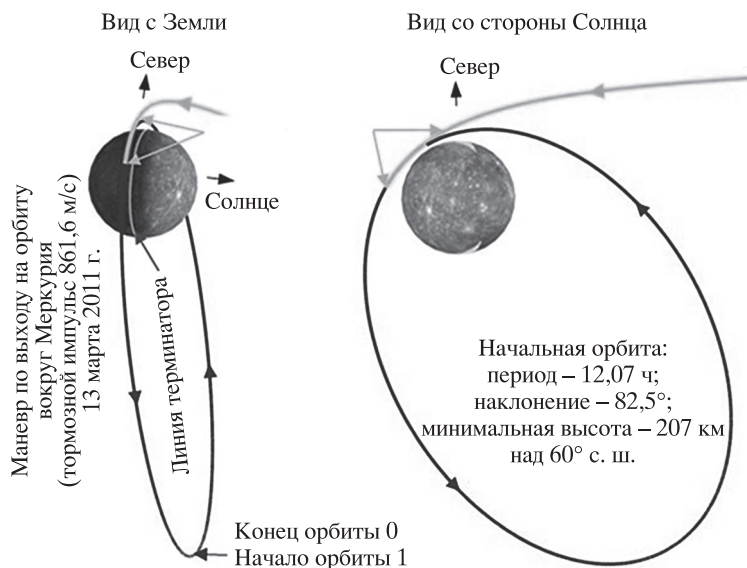


Схема траектории полета АМС «Мессенджер» на пути к Меркурию.

Траектория «Мессенджера» сразу после выхода на орбиту вокруг Меркурия. Слева – первый оборот станции вокруг Меркурия при взгляде со стороны Земли, справа – он же со стороны Солнца. Показан первый виток по эллиптической орбите вокруг планеты. Вверху линией показана траектория «Мессенджера» на подлете к Меркурию, часть орбиты – его траектория во время работы двигателей на торможение.



со стороны Солнца стали «понижать» высоту перигея орбиты земного «посланника». 20 апреля 2014 г. станция пролетела над планетой на высоте 199 км – ближе, чем когда-либо ранее. К середине июня 2014 г. высота перигея понизилась до 114 км. Теперь коррекции траектории не понижали, а повышали высоту перигея. Однако законы небесной механики неумолимы – к 25 июля 2014 г. минимальная высота пролета «Мессенджера» над поверхностью Меркурия уменьшилась до 100 км.

Запасы топлива на борту станции стремительно «таяли»: истратив топливо, станция теряла возможность маневрировать и «поднимать» высоту своей орбиты. По расчетам баллистиков, в конце марта 2015 г. «Мессенджер» должен был

упасть на поверхность Меркурия. Однако в реальности это произошло на месяц позже – 30 апреля 2015 г. Операторы миссии продлили жизнь своему аппарату, используя для последних маневров сжатый гелий, служивший для наддува двигателей. Выпуская гелий через сопла малых реактивных двигателей, они получили необходимый импульс еще для нескольких небольших коррекций. Наконец 30 апреля 2015 г. в 19 ч 26 мин 01 с по Гринвичу, завершив 4104-й виток вокруг Меркурия, станция врезалась в поверхность планеты со скоростью 3,91 км/с. В результате падения образовался ударный кратер диаметром около 15 м. Таким образом, «Мессенджер» проработал на орбите вокруг Меркурия 4,1 земных года – вчетверо

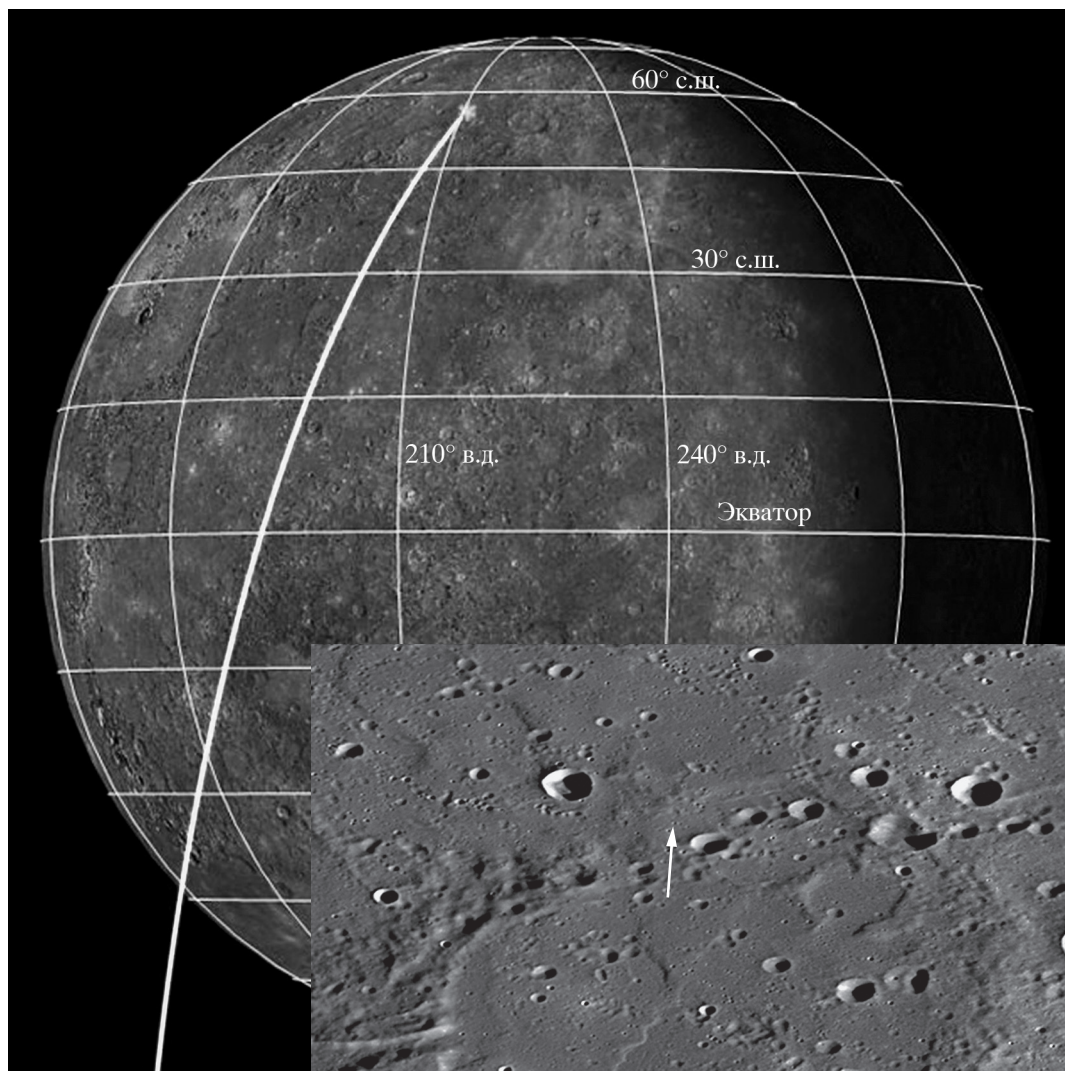
дольше, чем планировалось.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГРАММЫ

Что же удалось сделать земному «посланнику», ставшему первым искусственным спутником первой планеты Солнечной системы?

Съемка поверхности

Во-первых, «Мессенджер» провел картографирование поверхности Меркурия: уже к концу 2012 г. съемкой была «охвачена» вся поверхность планеты. На основе полученных снимков была составлена глобальная монохромная карта поверхности Меркурия с разрешением 250 м, а также карта его северной околополярной области – с разрешением 166 м. Кроме того, была построена цветная



карта поверхности планеты с разрешением 1,2 км. Говоря более точно, эту карту следовало бы назвать многоцветной (или мультиспектральной) — она объединила в себе снимки, сделанные в лучах с длиной волны в 430, 480, 560, 630, 750, 830, 900 и в 1000 нм. Для сравнения: обычное цветное изображение формата RGB формиру-

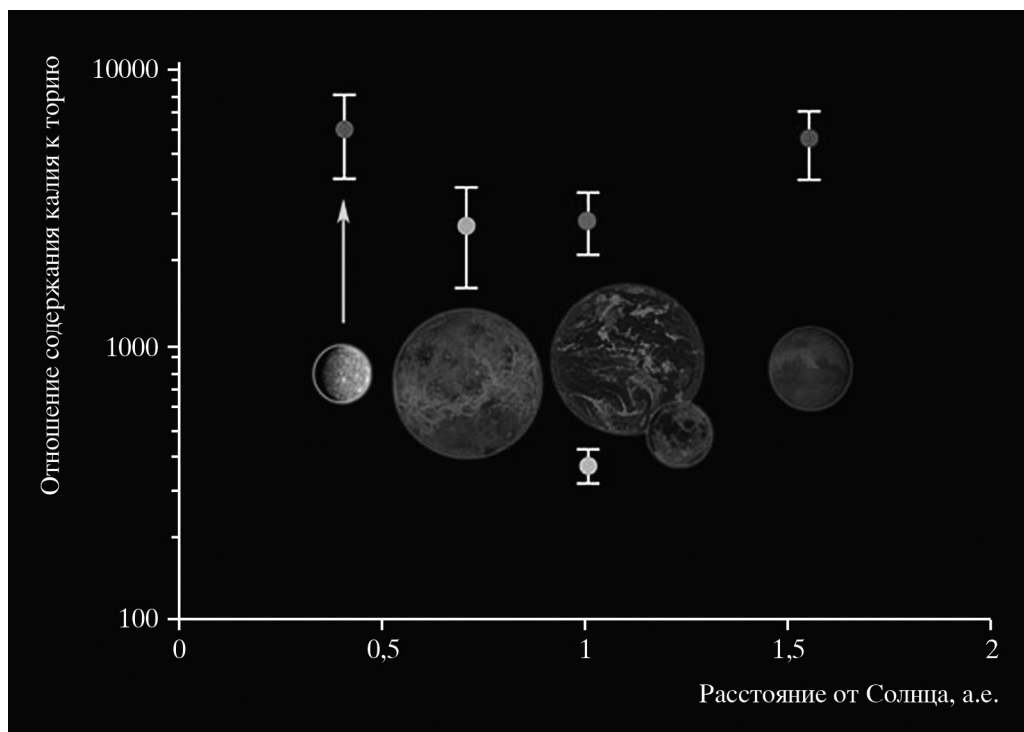
ется путем наложения всего трех каналов — синего, зеленого и красного. Карты опубликованы NASA в марте 2013 г. на сайте миссии «Мессенджер», все они доступны для скачивания.

Определение химического состава

Во-вторых, по данным «Мессенджера», Меркурий оказался го-

Траектория падения АМС «Мессенджер» на поверхность Меркурия. Во врезке — стрелкой обозначено место падения вблизи кратера Яначек, координаты — $54,44^\circ$ с.ш. и $210,12^\circ$ в.д.

раздо богаче, чем считалось ранее, летучими элементами, что разом зачеркнуло «катастрофические» гипотезы его

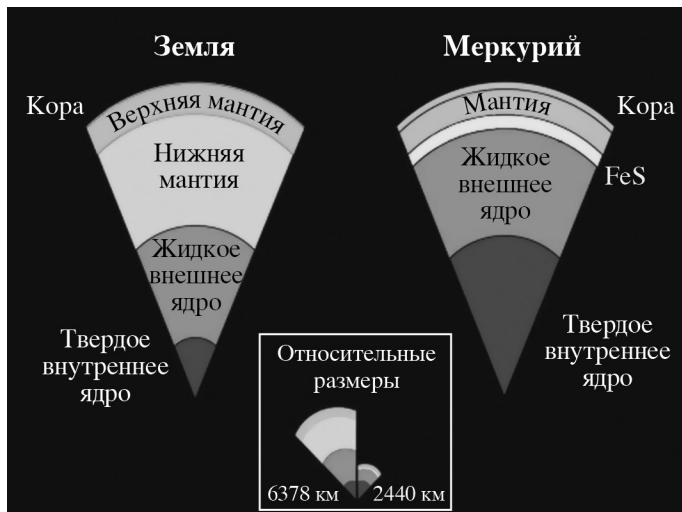


Отношение содержания калия и тория на планетах земной группы и на Луне. Высокое отношение K/Tr на Меркурии исключает «катастрофические» гипотезы его формирования.

формирования. Спектрометр нейтронов и гамма-лучей GRNS обнаружил в коре Меркурия значительное количество калия, натрия, серы и хлора — элементов, испаряющихся даже при умеренном нагреве. Отношение содержания калия к торию (K/Tr) оказалось близким к аналогичной величине для других планет земной группы и значительно большим, чем для Луны, сформировав-

шейся (как в настоящее время считается) в результате колоссального столкновения протоземли с Тейей. Особенно велико содержание калия в высоких широтах северного полушария Меркурия. Неожиданным оказалось относительно высокое содержание в коре Меркурия серы (1–4%) и низкое — железа (1–2%). Кроме того, исследователи обнаружили крупномасштабные вариации в содержании различных элементов: более светлые гладкие вулканические равнины оказались богаче алюминием, натрием и калием и беднее — магнием, кальцием и серой (относительно более тем-

ных и древних областей). Колоссальный ударный бассейн Калорис (море Жары) оказался значительно обедненным магнием и обогащенным алюминием. Ученые предполагают, что после мощного астероидного удара дно бассейна было залито лавой не из вещества коры, а из мантии Меркурия. В целом значительные вариации химического состава лав, изливавшихся на поверхность Меркурия, объясняются сложной геологической историей планеты. Кроме того, летучие элементы натрия и калий могут испаряться из грунта наиболее жарких областей, переноситься к полюсам — туда,



Модель внутреннего строения Меркурия (справа) в сравнении с Землей (слева). Показано внутреннее твердое ядро, выше – жидкое внешнее ядро, мантия и кора. Между жидким внешним ядром и твердой мантией на Меркурии лежит слой твердого сульфида железа FeS. Во врезке – относительные размеры и внутреннее строение Земли и Меркурия.

где прохладнее, и откладываться там.

Внутреннее строение и глобальное сжатие

В-третьих, точное измерение лучевой скорости «Мессенджера» в разных точках его траектории позволило с высокой точностью измерить гравитационное поле Меркурия: безразмерный момент инерции первой планеты Солнечной системы оказался равным $0,353 \pm 0,017$ (для сравнения: безразмерный момент инерции однородной сферы равен 0,4; этот параметр для Земли равен 0,3315). Также была измерена амплитуда либраций Меркурия – она достигает $38,5 \pm 1,6$ угловых секунд, или 450 м на экваторе. Это позволило определить внутреннее строение планеты. Как оказалось, толщина твердой внешней оболочки Меркурия

(туда входят кора, силикатная мантия и слой сульфида железа) составляет всего 410 ± 37 км, все остальное (2020 ± 30 км) представляет собой огромное частично расплавленное железное ядро! Таким образом, ядро занимает примерно 83% планеты (по радиусу).

Постепенное остывание жидкого железного ядра привело к глобальному сжатию Меркурия. Еще на снимках «Маринера-10» были замечены протяженные обрывистые уступы, получившие название эскарпов. Крупные эскарпы тянутся на сотни километров; и получили собственные имена, но есть и более мелкие. Анализ рисунка эскарпов показал, что с момента окончания поздней тяжелой бомбардировки (3,8 млрд лет назад) из-за глобального сжатия радиус Меркурия уменьшился на 7 км!

Отложения водяного льда

Еще одним важнейшим результатом стало открытие на дне северных околополярных кратеров Меркурия (куда никогда не попадают прямые солнечные лучи) значительных отложений водяного льда. Три независимых наблюдения подтверждают этот вывод: во-первых, нейтронный спектрометр «Мессенджера» обнаружил в грунте северной околополярной области Меркурия избыток атомов водорода. Во-вторых, спектры вещества на дне глубоких околополярных кратеров в ближнем инфракрасном диапазоне «продемонстрировали» присутствие водяного льда. Проведено детальное моделирование температуры поверхности и подповерхностных слоев Меркурия с использованием данных о реальном рельефе местности.

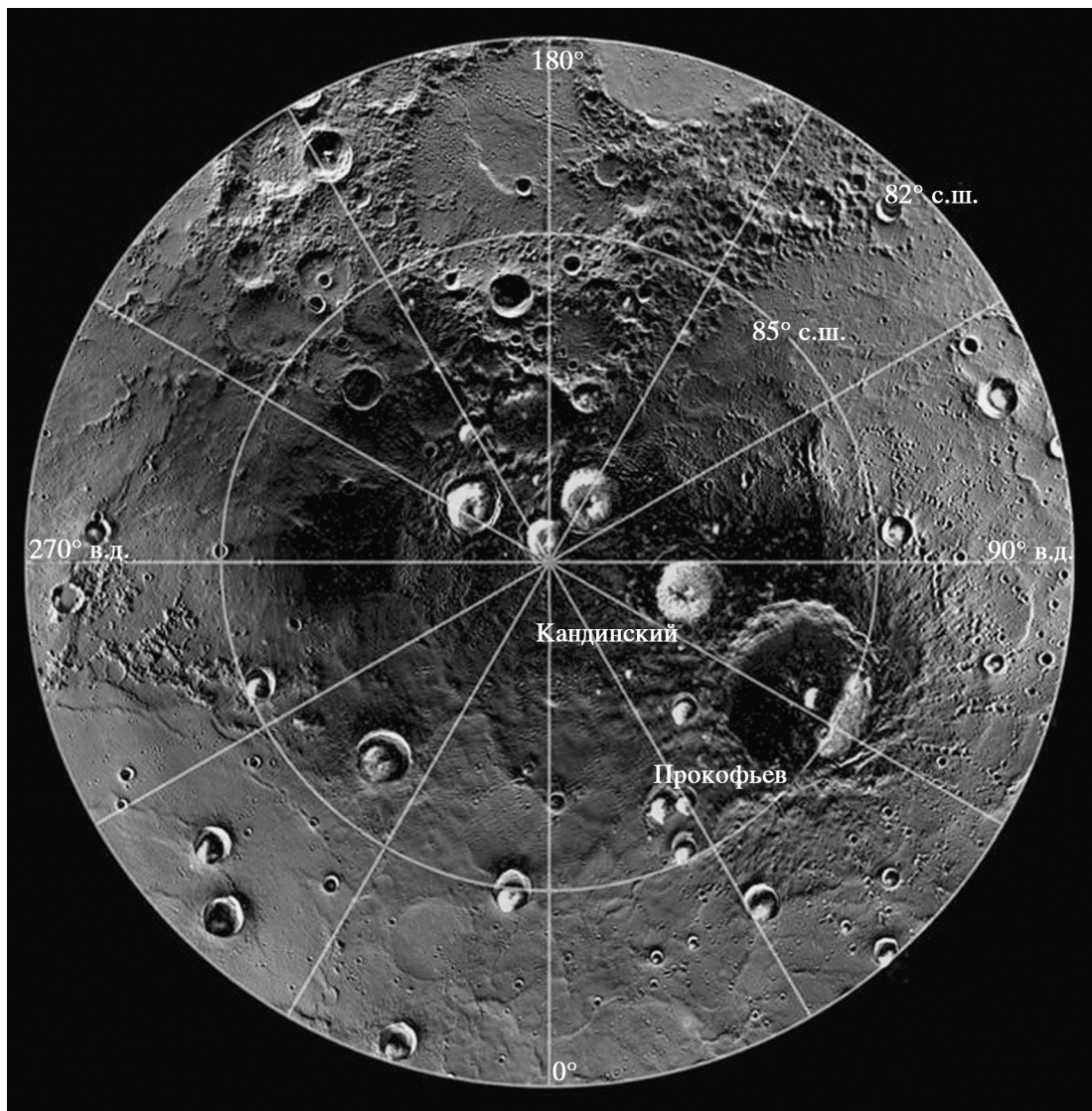


Эскарпы на поверхности Меркурия. Снимки сделаны AMC «Мессенджер». Фото NASA.

История поиска воды на Меркурии достойна отдельного подробного рассказа. Из-за своей близости к Солнцу Меркурий выглядит планетой, совсем не подходящей для поисков на ней водяного льда. Однако наклон оси вращения Меркурия к плоскости его орбиты близок к 90° (отличия составляют всего две угловые минуты), что приводит к тому, что в глубокие кратеры вблизи полюсов никогда не заглядывает солнце. Еще несколько десятилетий назад ученые предположили, что в этих ловушках может сохраняться водяной лед и другие летучие вещества в замороженном состоянии. В 1991 г. выполнены радарные исследова-

ния Меркурия с помощью радиотелескопа Аресибо в Пуэрто-Рико. Исследователи обнаружили необычные яркие пятна вблизи Северного полюса Меркурия. Именно так должны выглядеть в отраженных радиолучах залежи водяного льда. «Мессенджер» составил топографическую карту всей поверхности Меркурия, в том числе и ее северной околополярной области. Сравнение расположения ярких (в отраженных радиолучах) пятен на поверхности Меркурия с картой подтвердило, что все пятна расположены в вечно затененных областях, что косвенно подтверждало гипотезу о водяном льде. Ледяные отложения на дне вечно затененных кратеров были сфотографированы. Прямые солнечные лучи туда не попадают, но эти области все-таки немного подсвечиваются рассеянным светом, отражен-

ным стенками кратера. Увеличив время экспозиции, MDIS смог получить изображения вечно затененных областей, при этом освещенные области, окружающие кратер, оказались пересвеченными. Рассмотрим, например, снимки отложений водяного льда в кратере Фуллера. Моделирование температурного режима в этом кратере показало, что температуры там достаточно низки для того, чтобы водяной лед находился в грунте – но недостаточно низки, чтобы он мог находиться непосредственно на поверхности. Скорее всего (сумма фактов свидетельствует именно об этом), водяной лед в кратере Фуллера покрыт тонким слоем (его толщина оценивается в 10–30 см) очень темного, богатого органикой вещества, предохраняющего лед от сублимации. Четкая граница области



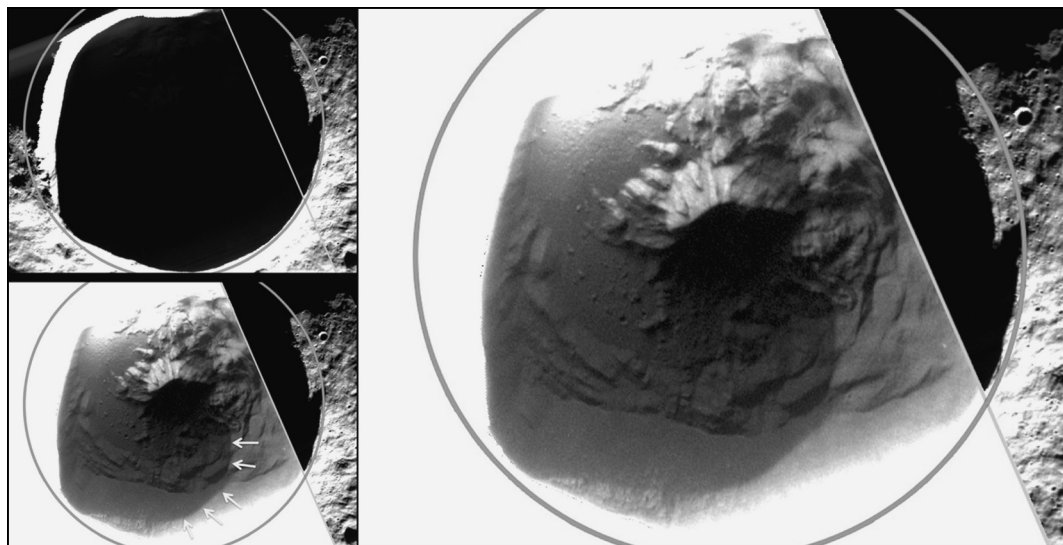
Радарное изображение, наложенное на топографическую карту Северной околополярной области Меркурия. Все яркие желтые пятна оказываются расположенными на дне (или на стенках) глубоких кратеров. Составлено по данным АМС «Мессенджер».

с низким альбедо говорит о геологической молодости этой особенности; в противном случае она бы уже «деградировала» под действием микрометеоритной бомбардировки.

Водяной лед может быть занесен на Мерку-

рий кометами, но, скорее всего, его происхождение связано с внутренними процессами. Как предполагают ученые, водяной пар постепенно просачивается к поверхности из недр Меркурия и за-

мерзает в холодных ловушках околополярных кратеров, откуда потом медленно сублимирует. Таким образом, отложения водяного льда находятся в динамическом равновесии – между на-



Отложения водяного льда в 27-км вечно затененном кратере Фуллера. Кромка кратера показана окружностью. Вверху слева — «обычный» снимок кратера Фуллера, справа — снимок, сделанный с большой экспозицией. Стрелки на левом нижнем снимке показывают четкую границу очень темного органического материала, защищающего залежи водяного льда от сублимации. Фото NASA.

мерзанием и сублимацией. Толщина ледяного слоя достигает как минимум нескольких метров; общая масса льда на Меркурии оценивается в 10^{16} – 10^{18} г.

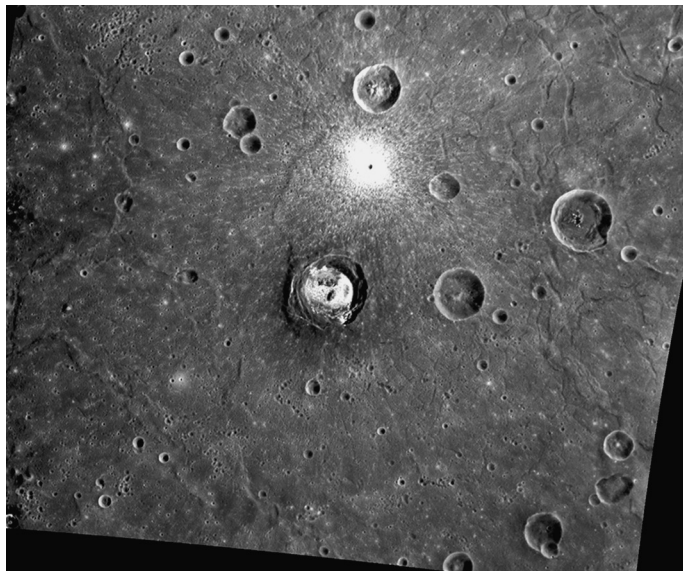
Загадочные ямы

Уникальной особенностью Меркурия стали ямы, или рытвины (hollows). Этот тип рельефа не наблюдается более ни на одной планете

(или спутнике) Солнечной системы. Ямы представляют собой сравнительно яркие (их альбедо выше, чем у окружающей местности) округлые депрессии неправильной формы глубиной в несколько десятков метров; обычно они окружены размытым светлым гало. Ямы часто наблюдаются в ударных кратерах, причем их больше всего в наиболее горячих областях планеты. Так, в Северном полушарии они гораздо чаще встречаются на северных стенках кратера, обращенных к экватору и сильнее нагреваемых от солнечного света; оттенок ям — голубоватый (в отличие от красноватой поверхности Меркурия). Происхождение ям еще не ясно, но предполагается, что они сформировались путем сублимации поверхностных пород,

причем сформировались совсем недавно! Почти полное отсутствие в ямах ударных кратеров говорит о том, что этот тип рельефа в геологических масштабах очень молод. Многие детали формирования ям стали выясняться в конце полета АМС «Мессенджер» (когда она стала пролетать над поверхностью планеты очень низко). Разрешение некоторых снимков узкоугольной камеры MDIS достигло 4–7 м. Съемка склонов кратеров и вулканических кальдер показала, что ямы могут находиться на разной высоте, а, значит, сублимирующее вещество находится на разной глубине под поверхностью Меркурия; однако химический состав этого вещества до сих пор остается неизвестным.

На первый взгляд Меркурий выглядит геологически мертвым небесным



Ямы на Меркурии с отложениями яркого вещества на дне или на кромках ударных кратеров. Снимок низкого разрешения получен АМС «Мессенджер». Фото NASA.

телом, чья тектоническая активность угасла миллиарды лет назад, но более тщательное изучение планеты показывает, что это далеко не так. Кроме ям, формирующихся, похоже, прямо на наших глазах, исследователи обнаружили на поверхности Меркурия множество небольших эскарпов, чья глубина не превышает нескольких десятков метров, а возраст – менее 50 млн. лет. С учетом отложений водяного льда в глубоких кратерах на полюсах планеты, покрытых свежим чехлом из темного органического вещества, становится ясно, что определенная активность на Меркурии продолжается и по сей день.

Магнитное поле и магнитосфера

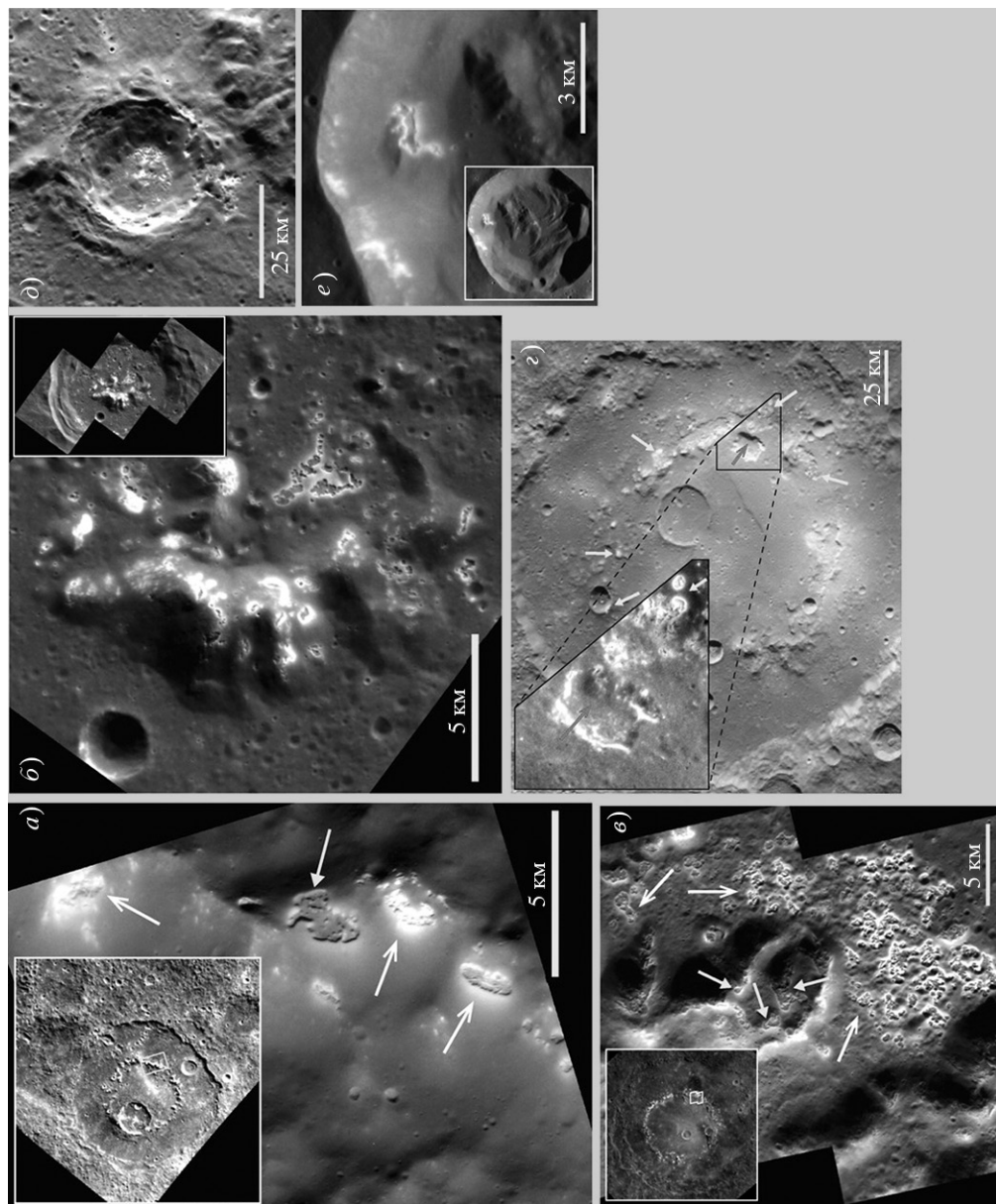
Среди планет земной группы только две име-

ют заметное магнитное поле – Земля и Меркурий. Еще во время пролетов АМС «Маринер-10» было определено, что Меркурий обладает собственным магнитным полем дипольной структуры, напряженность которого примерно в 100 раз меньше напряженности магнитного поля Земли – составляет около 300 нТ. Ось магнитного диполя отклоняется от оси вращения планеты на 10° , а его центр смещен относительно центра планеты к северу на 480 км (0,2 радиуса Меркурия). По-видимому, динамо-механизм в расплавленном металлическом внешнем ядре Меркурия, ответственный за генерацию внутреннего магнитного поля, имеет сильную асимметрию по линии север–юг. В результате этой асимметрии геометрия магнитных силовых

линий различна у Северного и у Южного полюсов: магнитная «полярная шапка» (область, где магнитные силовые линии не замкнуты и уходят в межпланетное пространство) гораздо больше у Южного полюса, нежели у Северного. Эта ситуация приводит к тому, что область вокруг Южного полюса больше облучается заряженными частицами, ускоренными в результате взаимодействия магнитосферы с солнечным ветром. Воздействие заряженных частиц на поверхность Меркурия способствует как генерации эфемерной атмосферы планеты, так и «космическому выветриванию» поверхностных пород.

Экзосфера

Меркурий лишен атмосферы, однако его все же окружает эфемерная газовая оболочка, которую можно назвать экзосферой; плотность атомов и молекул в экзосфере настолько низкая, что они чаще сталкиваются с поверхностью, чем друг с другом. Максимальная концентрация частиц у поверхности Меркурия



Неправильная округлая форма ям на Меркурии. Снимки высокого разрешения получены AMS «Мессенджер». Фото NASA.

оценивается в $7,7 \times 10^4$ частиц/см³; больше половины из них приходится на атомарный кислород. В экзосфере Меркурия присутствуют также натрий, гелий, калий, кальций, магний и водород; есть и другие примеси. Впрочем, там могут находиться еще и водяной пар, молекулярный кислород и аргон. Искать эти составляющие будут уже следующие миссии к Меркурию.

Атмосферное давление у поверхности планеты составляет всего 10^{-14} атм. Экзосфера пополняется разными способами: например, происходит «выбивание» космическими лучами атомов из поверхностных пород, в результате микрометеоритной бомбардировки и под жестким излучением Солнца захватываются ионы солнечного ветра (справедливо для водорода и гелия), происходит медленная сублимация водяного льда на полюсах Меркурия и распад радиоактивных элементов в

коре, приводящий к образованию атомов гелия и аргона. Атомов становится меньше обычно в результате фотоионизации и «убегания» образовавшихся ионов через магнитосферный «хвост». Между пополнением экзосферы и ее опустошением существует динамическое равновесие. Так, регулярные скачки содержания кальция в экзосфере Меркурия объясняются тем, что планета проходит через метеорный рой, образованный кометой Энке.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕРКУРИЯ

Исследования, проведенные АМС «Мессенджер», многократно умножили наши знания о Меркурии, однако множество вопросов так и остались нерешенными: каково происхождение Меркурия и почему его ядро настолько велико? каков точный состав экзосферы планеты и какова ее динамика? Не решена проблема асимметрии магнитного поля

Меркурия, до сих пор неизвестны многие детали его взаимодействия с солнечным ветром; не известен состав вещества, сублимация которого приводит к образованию ям. Для того, чтобы продолжить изучение Меркурия и ответить хотя бы на некоторые вопросы, нужна новая космическая миссия.

На 2017 г. намечен старт двух АМС по европейско-японской программе «Бепи Колombo» («Bepi Colombo»), названной так в честь итальянского математика и инженера Джузеппе Колombo (1920–1984) из Университета Падуи. Если полет пройдет по программе, то в 2024 г. Меркурия достигнут две АМС – «Mercury Planet Orbiter» (ESA) и «Mercury Magnetospheric Orbiter» (JAXA). Они продолжат изучение планеты на орбитах ее искусственных спутников и помогут нам лучше понять происхождение и эволюцию Меркурия.

Выяснена причина взрыва сверхновой

На основании данных, полученных космической обсерваторией «Чандра» и Очень Большим Интерферометром (VLA) Национальной радиоастрономической обсерватории (США), астрономы смогли определить вероятный триггер (время взрыва) сверхновой G1.9+0.3 типа Ia в Млечном Пути. Сверхновые такого класса вспыхивают, когда масса белого карлика превосходит предел Чандрасекара – $1,4 M_{\odot}$. Взрыв произошел из-за слияния двух белых карликов. Ранее G1.9 + 0.3 была идентифицирована в виде остатка недавно возникшей (около 110 лет назад) сверхновой в газопылевой области нашей Галактики.

Исследование взаимодействия расширяющегося остатка сверхновой G1.9+0.3 с газом и пылью проведено коллективом под руководством С. Чакраборти (Гарвардский университет). Формирующиеся в результате такого взаимо-



Остаток сверхновой G1.9 + 0.3 в нашей Галактике. Снимок получен в начале 2016 г. космической рентгеновской обсерваторией «Чандра». Фото NASA.

действия рентгеновское и гамма-излучение являются ключом к пониманию механизма взрыва. Изучение данного класса сверхновых звезд поможет ученым лучше понять закономерности взрывных процессов и определить скорость расширения Вселенной. С этой целью проводится модернизация системы радиотелескопов VLA, которая даст возможность лучше исследовать другие сверхновые типа Ia, а также поможет лучше понять их эволюцию. Как полага-

ют ученые, такие сверхновые появляются в процессе столкновения белых карликов. Их уникальность заключается в одинаковом максимальном уровне светимости из-за однородной массы белых карликов. Сохраняющееся постоянным значение их светимости используется астрономами в качестве стандарта для наиболее точного измерения расстояния до галактик.

Пресс-релиз
NASA, NRAO,
30 марта 2016 г.

Экстремально горячий квазар 3C273

С помощью российской космической обсерватории «Радиоастрон» измерена температура открытого в 1963 г. в созвездии Девы наиболее яркого квазара 3C273, расположенного в 2,44 млрд св. лет от нас. Она оказалась колоссальной – от 20 до 40 триллионов кельвинов, что примерно в 10 раз выше значений, которые допускаются в теории. – «Каким-то образом ядро квазара умудряется держать температуру экстремально высокой. Это противоречит нашим представлениям о природе излучения квазаров. Полагаю, за этим поразительным результатом скрывается новая глава в изучении дальней Вселенной», – прокомментировал этот феномен руководитель проекта «Радиоастрон», директор Астрокосмического центра ФИАН академик Н.С. Кардашёв.

В центре спиральных галактик находятся сверхмассивные черные дыры, масса которых может в миллионы и миллиарды раз превышать

массу Солнца. Некоторые из них ведут себя очень беспокойно – это активные ядра галактик, которые испускают мощные потоки электромагнитного излучения. В класс таких объектов входят и квазары – компактные объекты – яркость которых может превышать яркость всей галактики. Первые из них были обнаружены еще в 1950-е гг., их назвали «радиозвездами», поскольку сначала считали объектами нашей Галактики. Однако ученых смущал их совсем «незвездный» спектр. После определения красного смещения их причислили к классу ядер далеких активных галактик. К ним относится и квазар 3C273. Сверхмассивные черные дыры в центрах квазаров, нагреваясь до сверхвысоких температур, притягивают окружающее вещество, а часть материи выбрасывается прочь в виде быстрых и узких плазменных струй – джетов. Огромное значение температуры квазара 3C273 «поставило» ученых в тупик: эффективная температура плазмы, из которой состоят джеты квазаров, не может превышать 500 млрд кельвинов. «Потолок» температуры связан с обратной комптоновской катастрофой: если энергия электронов превышает этот предел, то они начинают лавино-

образно передавать энергию фотонам и охлаждаться. Но квазар 3C273 нарушает это ограничение. Даже учет известного эффекта релятивистского усиления оказывается недостаточным для объяснения такого феномена.

Это – первый квазар, где ученые обнаружили эффект субструктуры рассеяния. Теперь астрофизикам предстоит более детально изучить богатые данные наблюдений многих квазаров, выполненные «Радиоастроном», чтобы получить подробную информацию об особенностях межзвездной среды на основе анализа субструктур в их изображениях.

Исследование квазаров позволяет лучше понять физику экстремальных состояний материи, и, в частности, изучить, как «работают» сверхмассивные черные дыры. Исследования проводят не только с помощью космического интерферометра «Радиоастрон», но и наземными радиотелескопами (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 88). Первый способен дать наивысшее угловое разрешение, когда-либо достигнутое в астрономии, – в тысячи раз выше, чем у Космического телескопа Хаббла.

Пресс-релиз
АКЦ ФИАН,
29 марта 2016 г.

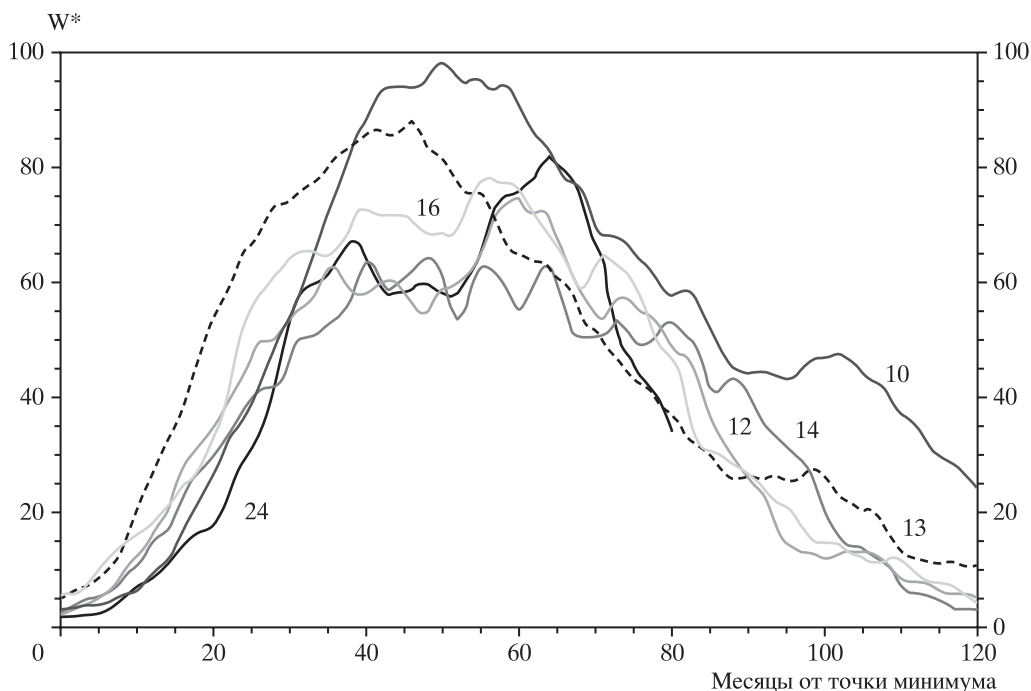
Солнце в феврале – марте 2016 г.

Солнечная пятнообразовательная активность на переходе от зимы к весне 2016 г. постепенно снижалась от среднего до низкого уровней. Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 1 до 7, все они были небольшими и спокойными. Из 37 групп солнечных пятен 25 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает уверенно идти на спад.

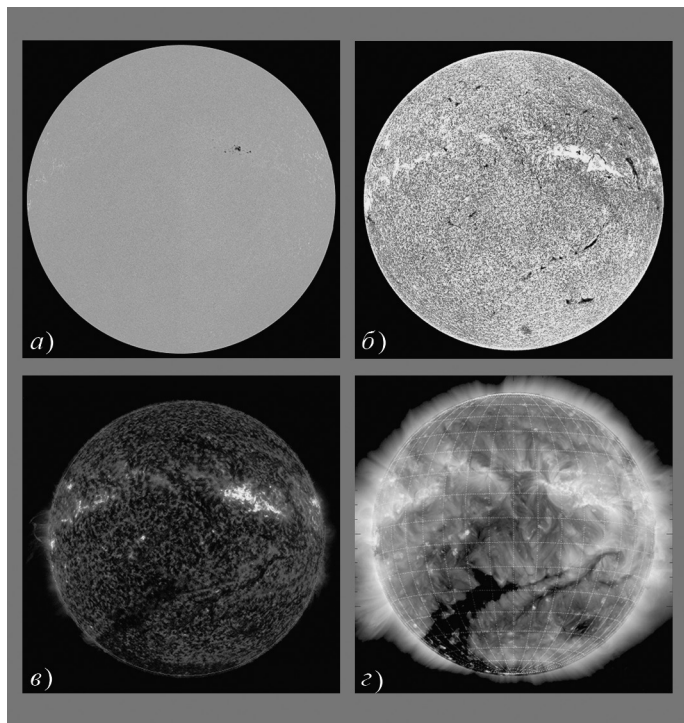
Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как и Служба состояния околоземного пространства, – www.swpc.noaa.gov – будем придерживаться старой, классической системы): $W_{\text{фев.}} = 34,3$ и $W_{\text{март}} = 32,9$. Сглаженное значение этих индексов в августе и в сентябре 2015 г. составило $W^* = 39,8$ и $W^* = 39,6$ соответственно.

В первую декаду **февраля** наблюдались самые высокие значения чисел

Вольфа в границах среднего уровня пятнообразовательной активности, которые постепенно снижались к концу месяца, однако низкий уровень был отмечен лишь 25 и 27 февраля. Максимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено **4 и 5 февраля ($W = 65$)**, минимальное – 21 февраля ($W = 15$). Вспышечная активность 12 – 15 февраля держалась на среднем уровне, когда в небольшой груп-

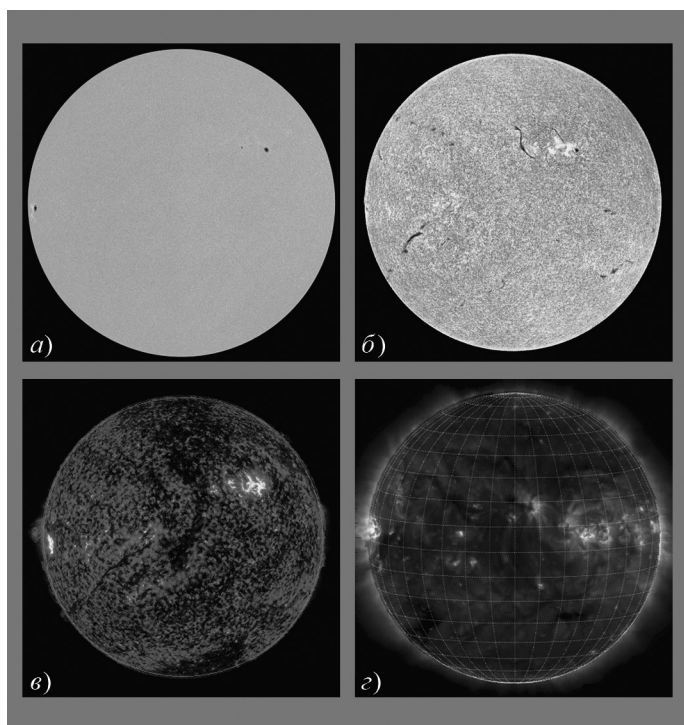


Ход развития (80 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (начиная с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой, классической системе.



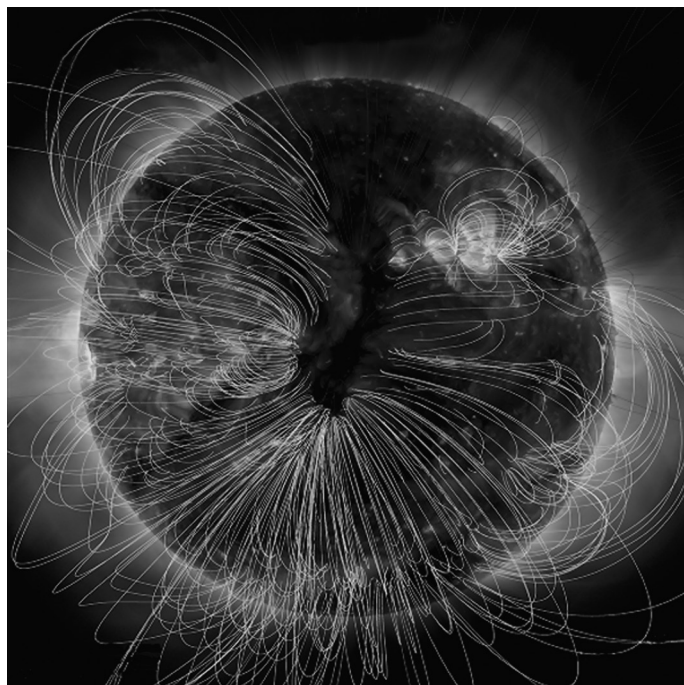
Солнце 13 февраля 2016 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория «SDO» (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

пе Северного полушария произошли 4 вспышки рентгеновского балла M1. В остальные дни вспышечная активность была на низком и очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (15 событий) наблюдались 4, 5 (4), 8, 10, 11, 14 (2), 16, 18 (2), 27 и 28 февраля. Коронаграфы космической обсерватории «SOHO» зарегистрировали 78 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа «частичное гало III» (угол раствора 180° – 270°) и три были типа «частичное гало II» (угол раствора 90° – 180°). Четы-



Солнце 25 марта 2016 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 195 \text{ \AA}$). Космические солнечные обсерватории «SDO» и «STEREO-A» (<http://spaceweather.com>). В начале 2016 г. «STEREO-A» наблюдала обратную сторону Солнца, она расположена на 27° от линии Земля – Солнце к восточному лимбу Солнца.

Большая приполярная корональная дыра, возникшая 26 января 2016 г. Снимок сделан 25 марта 2016 г. через два оборота Солнца в линиях крайнего ультрафиолетового диапазона с наложенными расчетными силовыми линиями магнитного поля. Магнитное поле в корональной дыре "открыто" в межпланетное пространство, плазма (высокоскоростной поток солнечного ветра) свободно "вытекает" из атмосферы Солнца. Космическая солнечная обсерватория «SDO» (<http://www.solarmonitor.org/>).



ре рекуррентных и одна новая корональных дыры проходили по видимому диску Солнца, и высокоскоростные потоки от трех из них внесли определенный вклад в магнитные бури. На средних широтах Земли отмечены две малых магнитных бури 16–17 и 17–18 февраля. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано три возмущенных дня. На геостационарных орбитах очень высокий поток (более 10^7 частиц на квадратный метр) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 17–25 и 28 февраля.

В первые две декады **марта** (до 18 марта) уровень пятнообразовательной активности Солнца оставался средним, а после, до конца месяца, – низким. На видимом диске Солнца наблюдалось от 7 до 1 групп солнечных пятен, больших

и средних не было. В Северном полушарии локализовались 12 групп и в Южном – 5. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено 4 **марта** ($W = 111$), минимальное – 31 марта ($W = 16$). Вспышечная активность весь месяц была на очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (19 событий) наблюдались 1 (2), 2, 3 (2), 6, 8, 12, 14, 16 (2), 17 (3), 18–20, 22, 24 (2) и 26 марта. Корonoграфы космической обсерватории «SOHO» зарегистрировали больше 73 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых 4 типа «частичное гало II» (угол раствора 90° – 180°). В марте наблюдались 4 рекуррентных корональных дыры (две приполярные) и одна малая, высокоскоростные потоки солнечного ветра которых вызвали на Земле 4 малых магнитных

бури (11, 14–15, 16–17 и 19 марта). Большая магнитная буря 6–7 марта стала следствием прихода 1 марта возмущения от выброса большого солнечного волокна. Всего за месяц было отмечено 7 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. В околоземном космическом пространстве было зарегистрировано одно малое протонное событие. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 8–10, 16–17, 20, 22 января.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

В.Н. ИШКОВ
ИЗМИРАН,
ГЦ РАН

Рудольф Вольф

(к 200-летию со дня рождения)

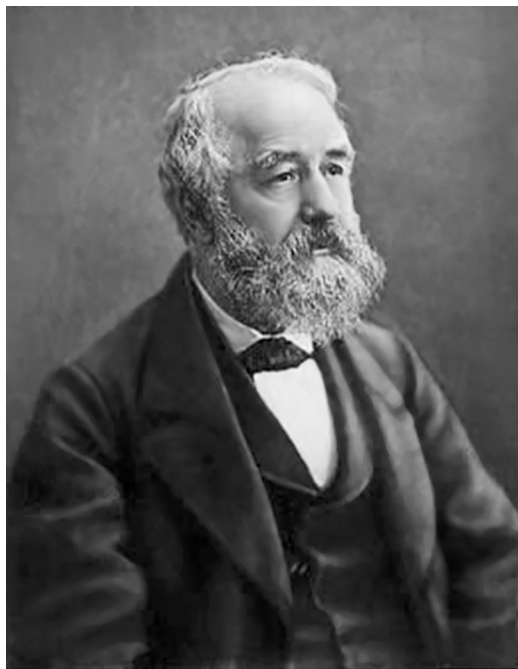
Выдающийся швейцарский астроном Иоганн Рудольф Вольф (Johann Rudolf Wolf) родился 7 июля 1816 г. в Фелландене близ Цюриха (Швейцария). Его родителями были Иоганнес Вольф, священник, и Регула Госсвайлер. Семья происходила из старинного цюрихского рода Виндегген – Вольфс.

Рудольф Вольф получил прекрасное образование, учась вначале в Реаль-

ном училище Цюриха, затем – в только что официально оформившемся университете Цюриха; в дальнейшем – в университетах Вены и Берлина. Его учителями были Иоганн Йозеф Литров (ранее – основатель обсерватории при Казанском университете в России) и Иоганн Франц Энке (37 лет возглавлявший Берлинскую обсерваторию).

В 1838 г. Вольф посетил Бонн, Брюссель и Париж, познакомился с великим Карлом Фридрихом Гауссом, немецким астрономом Фридрихом Вильгельмом Августом Аргеландером, французским физиком и астрономом Домиником Франсуа Араго (Земля и Вселенная, 1989, № 4). Начиная с 1839 г., Вольф преподавал математику и физику в Реальном училище Берна, в 1844 г. стал профессором астрономии, а затем и математики в университете Берна. В 1847 г. его назначают директором Бернской обсерватории, а в 1855 г. ученый становится профессором астрономии в университете Цюриха и в Федеральном технологическом институте Цюриха. С 1864 г. Р. Вольф – директор обсерватории в Цюрихе, открытой во многом благодаря его усилиям.

Рудольф Вольф был не только астрономом, но и математиком. Он занимался теорией простых чисел, геометрией, теорией вероятностей и статистикой. Ему, в частности, принадлежит одно из первых применений численного метода получения большого числа ре-



Иоганн Рудольф Вольф. 1870-е гг.



Университет Цюриха, в котором учился Р. Вольф.

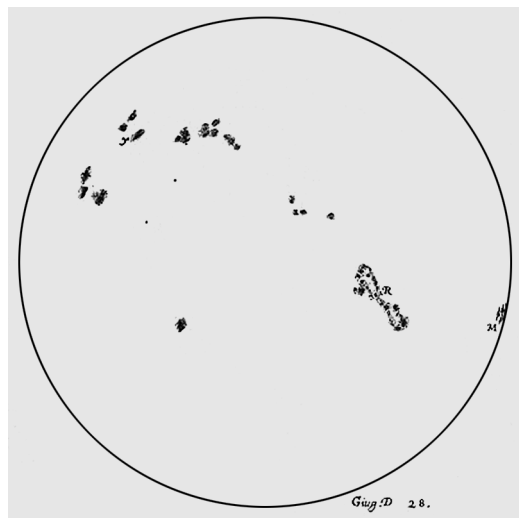
лизаций случайного процесса, который в XX в. стал называться методом Монте-Карло.

Наибольшую известность Рудольфу Вольфу принесли его исследования в области солнечной физики и геофизики.

Хотя пятна на Солнце были замечены еще в древнем Китае, но их зарисовки появились только в 1128 г. в хронике Иоанна Вустерского. Историки науки практически едины в том, что первенство в исследовании процессов на Солнце надо присудить Галилео Галилею. По движению пятен он доказал вращение Солнца и вычислил период его вращения. Солнечные пятна были открыты в 1610 г. после изобретения телескопа. Честь этого открытия принадлежит четверым ученым: Галилео Галилею, Кристофу Шейнеру, Иоганну

Фабрициусу и Томасу Хэрриоту. До начала XIX в. считалось, что каких-либо закономерностей в изменениях их числа на Солнце не существует. С другой стороны, их принадлежность именно Солнцу, а не околосолнечному пространству к тому времени не оспаривалась. Между 1650 г. и 1715 г. пятен на Солнце практически не было (минимум Маундера), солнечный цикл как будто бы совсем исчез. Это явление соответствовало периоду исключительно холодной погоды в Европе. Феномен “минимума Маундера” до сих пор не получил объяснения; это одна из проблем современной астрофизики.

Астроном-любитель из Дессау Генрих Самуэль Швабе, фармацевт по профессии, решил возродить старую гипотезу Кристофа Шейнера (восходящую к началу XVII в.), о том, что сол-



Зарисовка пятен на Солнце, выполненная Г. Галилеем.

нечные пятна – это планеты, обращающиеся внутри орбиты Меркурия. С этой целью в 1826 г. он начал наблюдения Солнца. Вскоре исследователь понял, что солнечные пятна принадлежат Солнцу, но продолжил их систематически регистрировать, поскольку стал подозревать о каких-то закономерностях в их появлении и исчезновении. Г.-С. Швабе опубликовал труд «Сол-

нечные наблюдения в 1843 году», в котором заключил, что количество пятен изменяется с периодом около 10 лет. Вольф оказался горячим сторонником открытия Г.-С. Швабе. С 1847 г. Вольф начал собственные наблюдения за пятнообразовательной деятельностью светила. Его скрупулезный подход исследователя к работе по подсчету пятен подтвердил догадку Г.-С. Швабе о наличии солнечного цикла. В статье 1849 г. Вольф приводит такие характеристики ежедневных наблюдений: полное число групп пятен, включая изолированные пятна g ; полное число пятен внутри каждой из этих групп f ; условия наблюдений (наличие или отсутствие облачности); использовавшийся инструмент (большой телескоп или полевой бинокль). В дальнейшем ученый еще дважды (в 1849 г. и в 1855 г.) публикует результаты своих наблюдений.

Спустя год после начала наблюдений Вольф уже вводит специальный параметр для измерения активности образования пятен: $g + \frac{1}{10}f$, который

он называет «относительное число» солнечных пятен. На основе суточных данных он рассчитывает среднемесячное значение этого параметра.

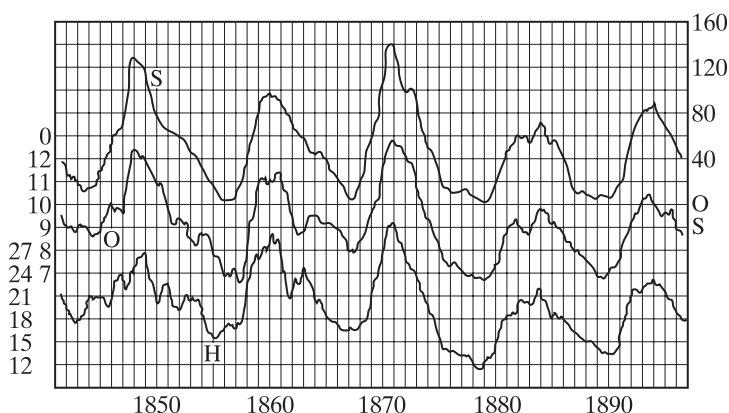


График изменения амплитуды суточных колебаний склонения и горизонтальной составляющей земного магнитного поля; кривая изменения чисел Вольфа.

ГОДЫ МИНИМУМОВ И МАКСИМУМОВ
СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА В XVII–XIX вв.

Минимум	Максимум
1645,0 ± 1,0	1626,0 ± 1,0
1755,5 ± 0,5	1717,5 ± 1,0
1810,5 ± 1,0	1816,3 ± 1,0
1823,2 ± 0,5	1829,5 ± 1,0
1833,6 ± 0,5	1837,5 ± 0,5
1844,0 ± 0,5	1848,6 ± 0,5

Для того чтобы определить точную продолжительность солнечного цикла, Вольф проводит поиск всех сохранившихся материалов в библиотеках Базеля, Берна и Цюриха по наблюдениям солнечных пятен в прошлом, затем обобщает данные. В статье, датированной 6 ноября 1852 г., Вольф находит некоторые надежные значения экстремумов 11-летнего цикла.

Отсюда, рассматривая разности дат минимумов, разделенных целым числом циклов, он получает:

$$\begin{aligned}
 (1810,5 \pm 1,0) - (1755,5 \pm 0,5) &= 55,0 \pm 1,12 = 5 \times (11,00 \pm 0,22); \\
 (1823,2 \pm 0,5) - (1755,5 \pm 0,5) &= 67,7 \pm 0,71 = 6 \times (11,28 \pm 0,12); \\
 (1833,6 \pm 0,5) - (1755,5 \pm 0,5) &= 78,1 \pm 0,71 = 7 \times (11,16 \pm 0,10); \\
 (1844,0 \pm 0,5) - (1755,5 \pm 0,5) &= 88,5 \pm 0,71 = 8 \times (11,06 \pm 0,09); \\
 (1810,5 \pm 1,0) - (1645,0 \pm 1,0) &= 165,5 \pm 1,41 = 15 \times (11,03 \pm 0,09); \\
 (1823,2 \pm 0,5) - (1645,0 \pm 1,0) &= 178,2 \pm 1,12 = 16 \times (11,14 \pm 0,07); \\
 (1833,6 \pm 0,5) - (1645,0 \pm 1,0) &= 188,6 \pm 1,12 = 17 \times (11,09 \pm 0,07); \\
 (1844,0 \pm 0,5) - (1645,0 \pm 1,0) &= 199,0 \pm 1,12 = 18 \times (11,06 \pm 0,06).
 \end{aligned}$$

Аналогично для максимумов циклов Вольф находит:

$$\begin{aligned}
 (1816,3 \pm 1,0) - (1717,5 \pm 1,0) &= 98,8 \pm 1,41 = 9 \times (10,98 \pm 0,16); \\
 (1829,5 \pm 1,0) - (1717,5 \pm 1,0) &= 112,0 \pm 1,41 = 10 \times (11,20 \pm 0,14); \\
 (1837,5 \pm 0,5) - (1717,5 \pm 1,0) &= 120,0 \pm 1,12 = 11 \times (10,91 \pm 0,10); \\
 (1848,6 \pm 0,5) - (1717,5 \pm 1,0) &= 131,1 \pm 1,12 = 12 \times (10,93 \pm 0,09); \\
 (1816,3 \pm 1,0) - (1626,0 \pm 1,0) &= 190,3 \pm 1,41 = 17 \times (11,19 \pm 0,08); \\
 (1829,5 \pm 1,0) - (1626,0 \pm 1,0) &= 203,5 \pm 1,41 = 18 \times (11,31 \pm 0,08); \\
 (1837,5 \pm 0,5) - (1626,0 \pm 1,0) &= 211,5 \pm 1,12 = 19 \times (11,13 \pm 0,06); \\
 (1848,6 \pm 0,5) - (1626,0 \pm 1,0) &= 222,6 \pm 1,12 = 20 \times (11,13 \pm 0,06).
 \end{aligned}$$

Оказалось, что расстояния между датами одинаковых экстремумов могут быть выражены целым числом циклов почти одинаковой продолжительности – от 10,91 до 11,28 лет. Найденные сопоставления помогли ученому установить среднюю продолжительность периода образования пятен – 11,1 лет.

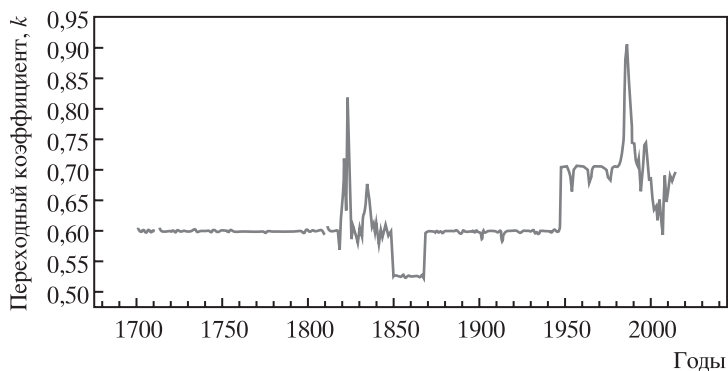
В 1855 г. Вольф изменил (но не кардинально) свое определение относительного числа пятен: $W = 10g + f$, поэтому все его полученные ранее оценки увеличились в 10 раз. Но перипетии с определением данного параметра на этом не закончились. Преемник Вольфа на посту директора Цюрихской обсерватории (и в то время – главный наблюдатель солнечных пятен) Альфред

Вольфер изменил систему подсчета чисел Вольфа: если Р. Вольф не считал изолированные пятна и поры группами, то А. Вольфер стал это делать. В результате относительное число пятен W стало подсчитываться по формуле:

$$W = k(10g + f),$$

где g – количество групп пятен; f – сумма одиночных пятен в группах; k – масштабирующий коэффициент. В результате произведенных необходимых вычислений оказалось, что $k = 0,6$. Именно так определялось число Вольфа до последних лет, и исследователи использовали этот временной ряд.

До начала 1980-х гг. центр подсчета ежедневных чисел Вольфа находился



Временные изменения переходного коэффициента k в формуле $W = k(10g + f)$. По современным данным (Клетт и др., 2015).

в Цюрихской обсерватории, и ряд этого индекса назывался цюрихским. Затем был образован Мировой центр данных индекса пятен в Брюсселе, и ряд стал называться международным. Он соз-

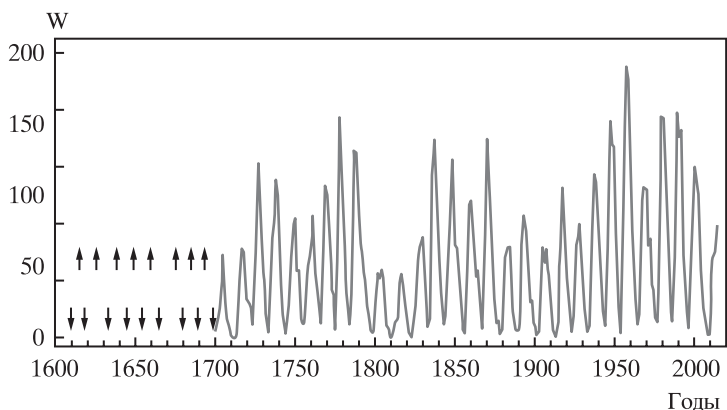
дается в результате объединения наблюдений разных обсерваторий в систему Локарно. Существует также американский ряд, который публикуется Национальным центром геофизических данных в Боулдере.

В 2015 г. на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза в Гонолулу (Гавайские острова) международная группа ученых в составе Фредерика Клетта, Лива Свальгаарда, Хосе Вакуэро и Эдварда Клайвера заявили о необходимости пересмотра шкалы коэффициентов k в формуле Вольфера для разных эпох, поскольку были найдены новые архивы наблюдений (XVIII в. – первые десятилетия XIX в.) и была предложена новая методика комбинирования систем разных наблюдателей (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 27; 2016, № 1, с. 21). Временные изменения коэффициента проявились в переходе от «нового» ряда чисел Вольфа (version 2.0 – <http://www.sidc.be/silso/datafiles>) к «старому» (version 1.0 – <http://www.sidc.be/silso/versionarchive>).

Такова история ряда чисел Вольфа, описывающего 11-летней цикл солнечной активности, который теперь часто называют циклом Швабе–Вольфа. Ведь именно Рудольф Вольф не только первым начал профессиональные наблюдения активности образования пятен на Солнце, но и первым провел



Профессор Е.Я. Перепёлкин. Середина 1930-х гг.



Ряд чисел Вольфа. Стрелочками обозначены моменты максимумов и минимумов 11-летних циклов в XVII в., выведенные Р. Вольфом.

исследования солнечного цикла в прошлом. Фактически Вольф является основателем мировой службы Солнца. К этой службе в дальнейшем присоединялись многие обсерватории, программа наблюдений становилась все шире.

В нашей стране в 1931 г. астроном из Пулковской обсерватории Евгений Яковлевич Перепёлкин выступает с предложением организовать национальную комплексную службу Солнца и в 1932 г. возглавляет ее. Строятся новые обсерватории, изготавливаются новые приборы для наблюдений, начинается выходить ежегодный «Каталог солнечной деятельности». Но в конце 1930-х гг. Е.Я. Перепёлкина вместе с несколькими видными астрономами Пулковской обсерватории репрессировали, и в 1938 г. он был расстрелян в тюрьме.

Только с основанием Кисловодской астрономической станции в 1948 г. отечественная служба Солнца снова «встает на ноги»; ее вдохновителем и организатором становится Мстислав Николаевич Гневышев. И так вплоть до начала 1990-х гг., когда, по признанию многих ученых, лучшая в мире служба Солнца СССР распалась.

В настоящее время лишь Кисловодская горная станция Главной (Пулковской) астрономической обсерватории

РАН и Крымская астрофизическая обсерватория продолжают наблюдательные программы ежедневного солнечного мониторинга. Только в последние годы по инициативе кисловодских и пулковских астрономов выдвинут проект возрождения национальной службы Солнца с использованием новых инструментов — автоматических телескопов-спектрогелиографов.

Временной ряд чисел Вольфа, охватывающий более чем 300-летний период, был основой для разнообразных междисциплинарных исследований — от солнечной физики до геофизики и биологии. Именно Рудольф Вольф был одним из основателей науки о солнечно-земных связях. В 1852 г. он вместе с Иоганном фон Ламонтом, Альфредом Готье и Эдвардом Сэбином открыл связь между солнечной циклическостью и геомагнитной активностью. Его работы по исследованию полярных сияний вдохновили в 1873 г. швейцарского ученого немецкого происхождения Германа Фрица к созданию первого подробного каталога этих явлений.

Результаты, к которым приходил Вольф, не всегда встречались коллегами «на ура», однако исследователь был полностью убежден в своих открытиях, в обоснованности применяе-

Handbuch der Astronomie

ihrer Geschichte und Litteratur.

Von

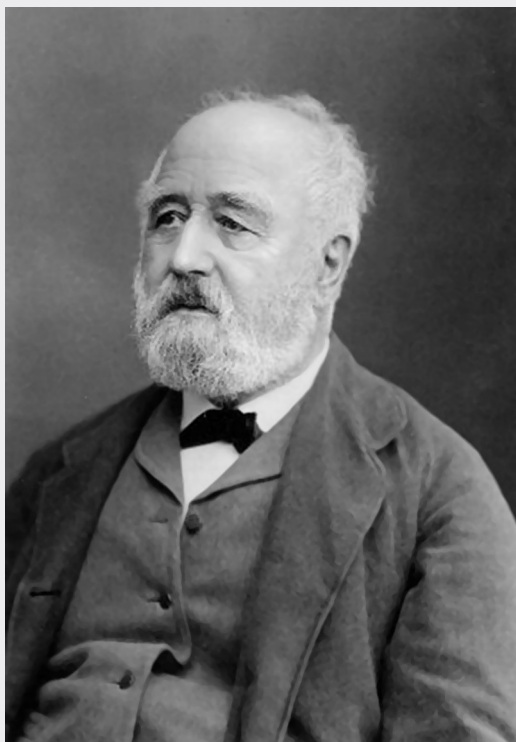
Dr. Rudolf Wolf,
Professor in Zürich.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzsichen.

In zwei Bänden.

Erster Halbband.

Zürich
Druck und Verlag von F. Schulthess
1890.



Обложка книги Р. Вольфа «Руководство по астрономии, ее истории и литературе», 1890 г.

Рудольф Вольф. 1890 г.

мых методов, и теперь мы знаем, что во многом он был прав.

Помимо исследований солнечных циклов, Рудольф Вольф активно занимался историей науки, литературным трудом. Его «Книга математики, физики, геодезии и астрономии» была опубликована в 1852 г.; позже он написал еще ряд монографий, в том числе «Культурную биографию Швейцарии». В 1890 г. и в 1892 г. в Цюрихе вышли два тома составленного им уникального в мировой литературе справочника по истории астрономии (начиная от ее зарождения) – «Руководство по астро-

номии, ее истории и литературе». Двухтомник Р. Вольфа, содержащий много фактических данных, не утратил актуальности и сегодня. Он основал и в течение 38 лет редактировал журнал «Квартальный обзор цюрихского общества естествоиспытателей». Всего за свою жизнь Вольф опубликовал более 200 произведений.

Скончался Рудольф Вольф 6 декабря 1893 г. в Цюрихе.

Ю.А.НАГОВИЦЫН,
доктор физико-математических наук
ГАО РАН

Херберт Фридман

(к 100-летию со дня рождения)

Признанный пионер фундаментальных космических исследований рентгеновского излучения Вселенной американский ученый Херберт Фридман внес крупный вклад в физику Солнца, аэронию и астрономию. Он основоположник внеатмосферной астрономии, этой области посвящены 25 важнейших трудов и 50 патентов.



Х. Фридман. 1950-е гг.

Х. Фридман руководил первыми ракетными и спутниковыми экспериментами по обнаружению рентгеновского излучения Солнца, впервые измерил звезды в далекой ультрафиолетовой области, исследовал космическое рентгеновское и гамма-излучение. Всю жизнь он отдал служению науке: работал в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории (Naval Research Laboratory, NRL) в Арлингтоне, входил в состав научного консультативного комитета при президенте США, консультативного комитета Комиссии по атомной энергии, Комиссии по космическим исследованиям, член правления национальной Академии наук. Он был одним из основателей Международной академии астронавтики.

Херберт Фридман (Herbert Friedman) родился 21 июня 1916 г. в Нью-Йорке в районе Бруклина, он был вторым ребенком из трех детей Сэмюэля и Ребекки Фридман. Его отец, американский ортодоксальный еврей, открыл магазин товаров по искусству и успешно вел свое дело на 9-й улице Манхэттена. Мать, родом из Восточной Европы была домохозяйкой. Херберт с детских лет хотел стать художником и развивал свои способности: жизнь его семьи окружала художественная и музыкальная среда. Никто больше в семье, кроме него не рисовал, несмотря на то что отец имел тесные деловые (часть бизнеса) связи с художниками. С раннего возраста мальчик зарабаты-

вал карманные деньги от продажи своих рисунков. Когда Херберту исполнилось девять лет, у него возник интерес к науке. В автобиографии он упоминает поездку в 1925 г. в Верхний Манхэттен для наблюдения полного солнечного затмения. В 1932 г. Херберт поступил на художественное отделение в Бруклинский колледж, но во время учебы увлекся математикой и физикой. В 1936 г. он закончил колледж, получив степень бакалавра в области физики. По завершении образования у него не возникло мысли о научной карьере – тем более, что в это время в США продолжался период Великой экономической депрессии и найти работу было невозможно. В лучшем случае он мог бы занять место преподавателя в средней школе, но и здесь была высокая конкуренция. Пришлось работать художником по рекламе за 5 долларов в неделю. Но Херберт все-таки решил поступить в аспирантуру, и ему повезло. Знакомый по учебе в Бруклинском колледже преподаватель Бернард Каррелмейер помог Херберту получить стипендию на физическом факультете в Университете им. Джона Хопкинса в Балтиморе (штат Мэриленд). Молодому ученому дали возможность также преподавать за 40 долларов в месяц. В дальнейшем Фридман посвятил себя разным областям наук и проявил себя как одаренный ученый и педагог.

В научных кругах Соединенных Штатов в эти годы наблюдался огромный интерес к экспериментальной физике. Физики-ядерщики, лауреаты Нобелевской премии Артур Комптон в Чикаго и Роберт Милликен в Беркли изучали рентгеновское излучение, высокоэнергетические частицы и космические лучи; Карл Андерсон в Пасадене обнаружил положительный электрон; астроном Эдвин Хаббл открыл разбегание галактик и обосновал понятие расширяющейся Вселенной. В Университете им. Джона Хопкинса Х. Фридман выполнил свои первые исследования материалов с помощью счетчика

Гейгера – Мюллера под руководством экспериментатора в использовании рентгеновских лучей профессора Дж.А. Бердена. Этот датчик счета ионизирующих частиц был изобретен в 1928 г. и только начал использоваться в экспериментах. Фридман улучшил чувствительность счетчика Гейгера – Мюллера. Начинаящий ученый написал три работы по рентгеновскому взаимодействию с разными материалами, главным образом, с металлами. Одна из них – “Рентгеновские линии эмиссии и пределы поглощения К-линий сплава меди-цинка” – опубликована в 1940 г. Получив в 1939 г. в Университете им. Джона Хопкинса звание доктора философии в области физических наук, он еще год преподавал в нем.

Только после протекции физического факультета Университета им. Джона Хопкинса в 1940 г. Х. Фридману предложили занять должность научного сотрудника в Отделе металлургии Военно-морской научно-исследовательской лаборатории. Тогда эта организация была небольшим учреждением, в семи исследовательских отделах работало около 100 ученых и инженеров. В 1940-х гг. Фридман проводит прикладные эксперименты по темам “Маркировка свинцом рентгенографической пленки и предотвращение ее засветки”, “Измерение толщины тонких покрытий при поглощении рентгеновским излучением”, “Определение концентрации тетраэтила в бензине при абсорбции рентгеновскими лучами”.

В 1942 г. Х. Фридман женился на Гертруде Миллер. Она тоже родилась в Бруклине, училась в Бруклинском колледже в то же время, что и Херберт, но им не удалось тогда встретиться. Дети Фридмана, Пол и Джон, родились в 1944 г. и 1947 г. В 1950 г. семья переехала в Арлингтон (штат Вирджиния). Жена создавала все условия для отдыха ученого, дом семьи Фридман был уютным и гостеприимным, весной в приусадебном саду цвели азалии.



Здания Военно-морской научно-исследовательской лаборатории США. 1967 г.

В 1942 г. Х. Фридман случайно оказался в подразделении Военно-морской научно-исследовательской лаборатории, занимающейся оптикой, которое возглавлял тогда пионер в исследованиях верхних слоев атмосферы Э. Хулберт. Он предложил ученому руководство недавно сформированным отделом по эксплуатации электронной микроскопии и рентгеновского анализа дифракции. Фридман переходит в отдел. Здесь он разрабатывает технику резки и настройки кристаллов на радиочастоту при брэгговском отражении, исследует особенности распространения, отражения и преломления рентгеновских лучей в кристаллах, обладающих высоким диэлектрическим контрастом. В мирное время такие кристаллы применялись в радиосхемах, но, так как шла Вторая мировая война, то их пришлось использовать и в военной радиотехнике. В 1945 г. Фридман полу-

чил (как гражданский специалист) за эти работы высшую военную премию – за “Службу в военно-морском флоте”. В тексте премии, в частности, было отмечено, что потребовалось много усилий для создания новой техники, чтобы спасти миллионы жизней. Во время войны Фридману пришлось стать участником проекта государственной важности – искать радиоактивные материалы для идентификации в местах ядерных взрывов примененного оружия. Стандартная техника при анализе микрочастиц тогда не позволяла точно определить взорванный радиоактивный материал. Ученый понял, что при ядерном взрыве в стратосферу попадают радиоактивные элементы, создающие условия для выпадения дождя. Стало ясно, что с помощью химических методов можно извлекать тяжелые элементы из дождевой воды. Эта простая идея Фрид-

мана превратилась в мощное средство обнаружения ничтожного количества включений в атмосфере. Им был сконструирован модифицированный счетчик Гейгера – Мюллера, способный исследовать кванты высоких энергий и точно устанавливать факт ядерного взрыва. Он стал участником секретного проекта Военно-морской научно-исследовательской лаборатории, названного “Стуки дождя” (Project Rain Barrel). С помощью своего прибора ему удалось раскрыть факт произведенного в СССР 29 августа 1949 г. первого ядерного взрыва.

В 1973 г. Фридман написал статью “Неориентированное исследование” для публикации в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории. В ней он рассказал в своей работе над преобразованием кварцевых кристаллов в точные кристаллические генераторы, которые обнаружили взрывы советских ядерных бомб, и о других прикладных работах. Позднее Фридман вместе с коллегой Бирком Ла Верном разработал метод рентгеновской флюоресценции при анализе материалов сложного состава. Эти важные достижения в науке характеризовали Фридмана как необычайно одаренного ученого.

К 1949 г. Х. Фридман под влиянием и при поддержке начальника подразделения Военно-морской научно-исследовательской лаборатории Э. Хулберта изменил направление научных интересов – его заинтересовали эксперименты на зондирующих ракетах – чтобы изучить солнечное излучение и структуру верхних слоев атмосферы. Хулберт начал исследование ионосферы с помощью высотных аэростатных зондов еще в 1920-е гг., но только ракеты могли доставить приборы на высоту более 50 км, где начинается ионосфера. В конце Второй мировой войны одного из специалистов Военно-морской научно-исследовательской лаборатории Эрнеста Крюза командировали в Германию, чтобы оценить возможности немецкой военной техники. Ему проде-



Ракета Фау-2 на старте. Запускалась с полигона Уайт Сэндс (штат Нью-Мексика, США). 1946 г.

монстрировали баллистическую ракету А-4 (Фау-2). Благодаря ученому, ее стали применять в научных целях. Хулберт поощрял ученых Военно-морской научно-исследовательской лаборатории развивать ракетные эксперименты. В 1946 г. на полигоне Уайт Сэндс (штат Нью-Мексико) запускались трофейные ракеты Фау-2, зондируя атмосферу на высоте до 100 км. В 1948 г. группа Ричарда Барнайта из Морской лаборатории (США) обнаружила рентгеновское излучение Солнца. На следующий год была запущена ракета с целью регистрации заряженных частиц счетчиком Гейгера – Мюллера. Этим экспериментом руководил Фридман, было установлено, что источником рентгеновского и



Запуск геофизической ракеты "Aerobee USAF-9" с ракетного полигона Уайт Сэндс. Максимальная высота подъема ракеты составила 108,2 км. 1950 г.

ультрафиолетового излучения является Солнце. В те годы меньше половины попыток запусков были успешными, но Фридман смог получить данные о параметрах солнечного излучения. Результаты экспериментов он опубликовал в статье "Измерение счетчиком фотонов солнечного рентгеновского излучения и крайнего ультрафиолета" в 1951 г. в журнале "Physical Review", так описывая эксперимент: "Телеметрическая информация принималась 29 сентября

1949 г. во время полета ракеты Фау-2, поднявшейся до 105 км. Выше 87 км было обнаружено влияние солнечного рентгеновского излучения на изменение степени ионизации атмосферы длиной волны 8 Å, выше 70 и 95 км ультрафиолетовое излучение имеет длину волны 1200 Å и 1500 Å. Результаты показали, что солнечные мягкие рентгеновские лучи важны в ионизации слоя E, в полосе излучения Лайман-альфа радиация проникает значительно ниже слоя E и что выше 100 км молекулярный кислород быстро расщепляется на атомарный". Таким образом, найден ответ на один из основных вопросов: каков источник поведения отражающего радиационного слоя? В эти годы ученый получил свой первый патент – "Параллельное расположение счетчиков Гейгера – Мюллера" и опубликовал в соавторстве статью "Измерение толщины тонких покрытий".

До 1950 г. проводились в основном лабораторные рентгеновские анализы, затем Фридман переключился на только что открывшуюся для исследований область наблюдений рентгеновского излучения из космоса с использованием геофизических ракет. Дело в том, что жесткое излучение с энергией более 20 кэВ полностью поглощается атмосферой на высотах до 20 км. Чтобы наблюдать его в диапазоне 1–20 кэВ (особенно в мягком, менее 1 кэВ) необходимо было поднять аппаратуру на высоту более 200 км. В 1955–1958 гг. счетчики Гейгера – Мюллера на ракетах "Аэробе-150" ("Aerobee") смогли зафиксировать солнечную вспышку, эмиссия которой ограничивалась преимущественно рентгеновскими лучами. Фридман также впервые получил камерой-обскуром первое изображение Солнца, а также сведения о температуре и элементном составе солнечной короны; ему удалось уловить ультрафиолетовую эмиссию в нашей Галактике. С 1955 г. его группа начала изучать ультрафиолетовую фотометрию горячих звезд, в 1960-х гг. открыты

их ультрафиолетовые гало. В 1958 г. в полетах шести малых ракет “Nike-Asp”, стартовавших из Тихого океана, Фридман наблюдал солнечное затмение. Это позволило установить места рентгеновского излучения вне видимого диска Солнца, в небольших регионах на его поверхности. Исходящий от звезд рентгеновский поток (даже самых близких) не превышает 10^{-3} фотона/(см²/с). Обнаружить такое слабое излучение в 1950-е гг. было невозможно, и в течение десятка лет проблема не выходила из стадии теоретического обсуждения. В 1957 г. вышли две статьи Фридмана — “Ультрафиолетовое излучение в дальней области на ночном небе. На пороге космоса” и “Ракетные исследования рентгеновской эмиссии солнечных вспышек” в журнале “Nature”.

С созданием в 1958 г. NASA некоторые подразделения Военно-морской научно-исследовательской лаборатории и несколько ученых, работавших в отделе Фридмана, включая директора Гомера Ньюэлла, были переданы новой организации, а Фридману предложили руководящий пост в Центре космических полетов им. Р. Годдарда NASA. Ученый не оставил работу в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории, несмотря на большие перспективы. Пришлось реорганизовать лабораторию, в 1958–1963 гг. Фридман стал руководителем Отдела атмосферы и астрофизики в Вашингтоне. Военно-морская научно-исследовательская лаборатория была уникальной не только в научном плане: многие студенты и аспиранты могли участвовать в космических исследованиях и создании высоких технологий. Фридман знал, что надо укреплять университетские научные исследования, и этот вопрос обсуждался на заседании научного консультативного комитета при президенте. Используя свой авторитет, он поддержал предложение о создании в 1963 г. новой исследовательской организации —



Запуск ракеты “Nike-Asp” с атолла Джонсона в Тихом океане 22 сентября 1967 г. В головной части находился датчик, разработанный в Радиационной лаборатории Министерства энергетики США для изучения рентгеновского источника Скорпион X-1.

Центра космических исследований им. Э.О. Хулберта в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории и его технического оснащения, включая закупку геофизических ракет и другого необходимого оборудования. Начиная с 1963 г., Фридман возглавлял Отдел наук о космосе и работал по совместительству ведущим специалистом Центра космических исследований им. Э. Хулберта. Фридман смог убедить руководителей NASA продолжить финансирование центра до 1980 г.

В 1960 г. Фридман был избран в Национальную академию наук и получил звание профессора физики Университета штата Мэриленд, ему вручена премия Вольфа по физике.



Вручение Х. Фридману премии Вольфа по физике в 1960 г.

С конца 1950-х гг. в США, кроме Херберта Фридмана, проблемой регистрации источников космических рентгеновских лучей заинтересовались Риккардо Джаккони, Бруно Росси и их коллеги. Сложную задачу обнаружения таких, не связанных с Солнцем источников, они пытались решить двумя способами: увеличивая чувствительность приемной аппаратуры и выбирая для исследования не Солнце и звезды, а другие, промежуточные цели. В начале 1960-х гг. американские ученые создали регистрирующую аппаратуру на основе пропорциональных газовых счетчиков. 18 июня 1962 г. с полигона Уайт Сэндс на высоту 225 км была запущена геофизическая ракета «Аэробы-150». На ее борту находился рентгеновский детектор (энергетический диапазон 1,6–6,2 кэВ), созданный группой Р. Джаккони; в термосфере прибор работал в течение почти 6 мин. Этот полет ознаменовал собой начало эры рентгеновской астрономии. Были сделаны два важнейших открытия: обнаружено изотропное рентгеновское излучение Вселенной и ярчайший источник Скорпион X-1 (Sco X-1), содержащий опти-

ческую и аккрецирующую нейтронную звезды, светимость которой в тысячу раз превосходит оптическую. Определить точное положение Скорпиона X-1 на небе оказалось затруднительно. Лишь в 1963 г. Фридман подтвердил существование источника, а не вызывающее сомнения положение его на небе стало известно спустя десятилетие. Координаты другого источника совпали с известным остатком вспышки сверхновой – Крабовидной Туманностью. После открытия в 1968 г. оптических и радиопульсаров, Фридман смог зафиксировать рентгеновские пульсации от нейтронной звезды в Крабовидной Туманности.

В дальнейшем ученый совершенствовал научную аппаратуру для рентгеновских исследований. В 1965 г., 1968 г. и в 1971 г. на спутниках «Эксплорер-30, -37 и -44» типа «Солрад» («Solrad-8–10») Фридман установил первый кристаллический спектрометр для измерения жесткого рентгеновского излучения. Во время очередного цикла солнечной активности с помощью спектрометра удалось проследить за изменением потока рентгеновского излучения во время вспышки на Солнце. Прототипы приборов «Солрад» были установлены на метеоспутниках серии «NOAA» и «GOES» для контроля радиационной обстановки в космосе.

Успехи рентгеновской астрономии связаны с запуском специализированных рентгеновских спутников и созданием космических обсерваторий (Земля и Вселенная, 2014, №№ 4, 5). Фридман участвовал в создании приборов, регистрирующих рентгеновское излучение небесных объектов. Первым из таких спутников был знаменитый американский «Ухуру» («Uhuru», или «Эксплорер-42» тип «SAS-A»), запущенный 12 декабря 1970 г. Прибор в течение трех лет выполнил съемку всей небесной сферы в рентгеновском диапазоне и зарегистрировал 339 рентгеновских источников с энергией 2–6 кэВ. Среди результатов работы «Ухуру» необходимо отметить надежные изме-



Сборка американской неуправляемой суборбитальной зондирующей ракеты “Аэроби-150” (“Aerobee”). В 1950-х гг. она применялась для высотного исследования атмосферного и космического излучения.

рения космического рентгеновского фона в области энергий 20–500 кэВ. Под руководством Фридмана создан инструмент A1/LASS, содержащий семь больших пропорциональных газовых счетчиков; его установили на борту космической астрономической обсерватории высоких энергий “HEAO-1”, запущенной 12 августа 1977 г. Инструмент работал в диапазоне 3–25 кэВ, имел в конце XX в. самую большую собирающую площадь детекторов – около 10^4 см^2 . Более высокие технические характеристики будут улучшены лишь космической рентгеновской обсерваторией “RXTE”, стартовавшей 30 декабря 1995 г. (Земля и Вселенная, 1997, № 2, с. 40). За полтора года “HEAO-1” провела три сканирования всего неба в диапазоне 1 кэВ – 10 МэВ, что позволило зарегистрировать рентгеновские

источники в области полюсов эклиптики, а также провела детальные исследования ряда ярких источников.

В 1960–1980-е гг. Фридман был членом нескольких (в 1970 г. – в 17!) научных организаций: президент Комитета международного объединения солнечно-земных связей, директор американского ракетного общества и консультативной группы по космическим исследованиям, член геофизической комиссии и комитета Международного года спокойного Солнца, член четырех редакционных коллегий. Фридмана высоко ценили в высших кругах, он был чрезвычайно влиятельным научным советником. В конце 1970-х гг. Администрация президента Дж. Картера должна была утвердить перспективные космические программы и сделать выбор между межпланетной станци-

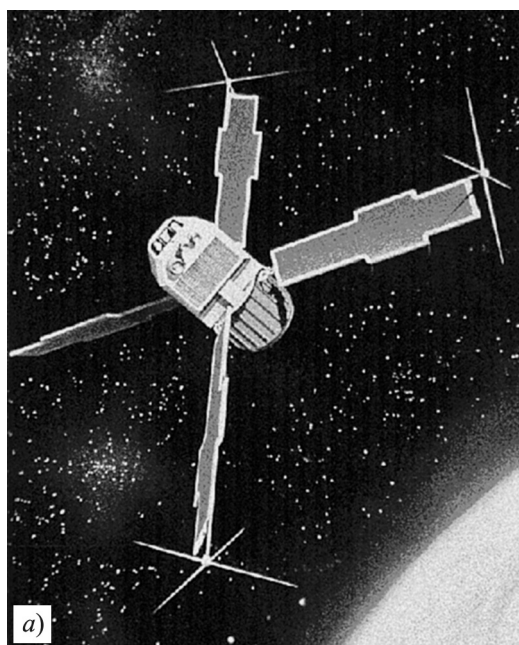


ИСЗ “Солрад” (“Solrad-1”) для исследования солнечного рентгеновского излучения, запущен 22 июня 1960 г. В 1960–1976 гг. запущено 16 спутников этой серии, из них 12 – успешно. Фото NASA.

ей для исследования в 1986 г. кометы Галлея и космической обсерваторией гамма-излучения им. А. Комптона (“Compton Gamma-Ray Observatory”, “CGRO”). По этому поводу обратились за советом к Фридману. Он ответил, что полет к комете Галлея вызовет большой отклик у общественности, но изучение гамма-излучения важнее – оно имеет фундаментальное значение. Правительство Дж. Картера выбрало проект “CGRO”, обсерваторию запустили в 1991 г.

Фридман проявлял интерес к ученым из стран социалистического содружества, особенно Советского Союза, он сотрудничал с ними при обсуждении проблем рентгеновской астрономии, был близким другом российского астрофизика И.С. Шкловского.

Фридман опубликовал более 300 научных работ, в их числе: «Изучение рентгеновских лучей и Лайман-альфа эмиссии Солнца на ИСЗ “SR-1” (“Solrad-1”)» (1962), “Интерпретация рентгеновских фотографий Солнца” (1963),



Космические рентгеновские обсерватории: а) “Ухуру” (“Эксплорер-42”, запущена 12 декабря 1970 г.); б) “НЕАО-1” (запущена 12 августа 1977 г.) Рисунок NASA.

“Затенение Луной эмиссии рентгеновских лучей от Крабовидной Туманности” (1964), “Распределение и изменчивость космических рентгеновских источников” (1966), “Рентгеновский пульсар в Крабовидной Туманности” (1969), “Рентгеновские колебания интенсивности в источнике Лебедь X-1” (1971). Вышли его научно-популярные книги “Удивительная Вселенная” (1975), “Солнце и Земля” (1987), “Вселенная астрономов: звезды, галактики и космос” (1990).

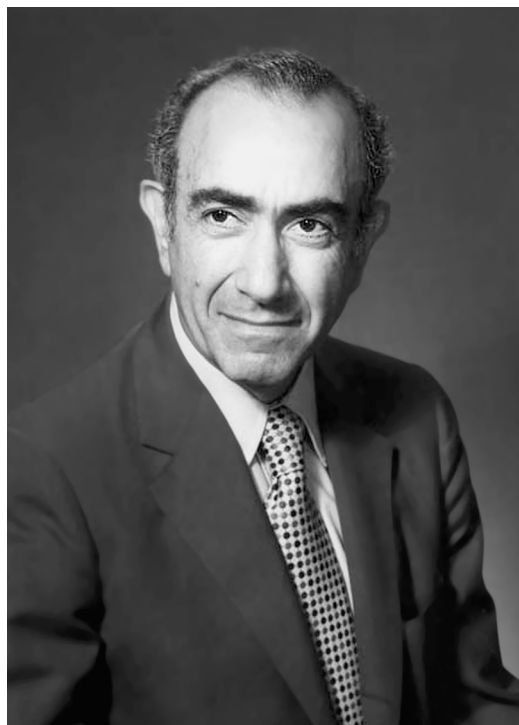
Видный ученый был большим государственным и общественным деятелем. Он организовал проводившееся на постоянной основе обсуждение Международной программы сохранения геосферы – биосферы на семинаре под эгидой Национальной академии наук. В 1984 г. были выпущены “Предложения по исследованию глобального изменения климата”, которые утверждены на Генеральной Ассамблее Международного географического союза. Фридман был в составе многочисленных национальных и международных организаций: Научного консультативного комитета при президенте Р. Никсоне, Общего консультативного комитета и Комиссии по атомной энергии при президенте Л. Джонсоне, американской Академии искусств и наук, Международной академии астронавтики, Института аэронавтики и астронавтики. В 1964 г. его избрали в американское Философское общество, где работал в ряде комитетов. Незадолго до смерти он организовал симпозиум “Оборона от баллистических ракет, космической и ядерной угрозы”. Достижения ученого в науке были признаны во всем мире. Фридман получил почетные ученые звания Мичиганского и Тюбингенского университетов (Германия), был удостоен многих премий и наград. Это премия Вольфа по физике (1960), президентская премия “Выдающийся деятель” (1984), национальная медаль в области науки правительства США (1969), медаль “За выдающиеся научные достижения” NASA (1962), медали общественных организаций – Королевского



Директор Национального научного общества А. Ватерман. 1963 г.



Х. Фридман с сотрудником Военно-морской научно-исследовательской лаборатории доктором Дж. Каррузерсом. 1964 г.



Х. Фридман. 1969 г.

астрономического общества им. Эддингтона (1964), Французского астрономического общества им. П. Жансена (1962), Альберта Майкельсона Института им. Б. Франклина (1972), Американского геофизического и астрономического общества (1973).

В 1980 г. Фридман ушел из Военно-морской научно-исследовательской лаборатории на пенсию, но продолжал активно сотрудничать с научным сообществом и лабораторией до своей кончины. В 1996 г. по случаю 80-летия он получил награду за работу в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории, звание заслуженного деятеля Центра космических исследований им. Э. Хулберта. Был открыт Зал Фридмана в Военно-морской научно-исследовательской лаборатории в знак высоких заслуг ученого. Фридман умер от рака в своем доме в Арлингтоне 9 сентября 2000 г.

Выдающийся ученый был выдвинут на Нобелевскую премию по физике за вклад в солнечную и рентгеновскую астрофизику, но в 2002 г. ее присудили Риккардо Джаккони. В своем докладе представитель Шведской Королевской академии наук отметил, что рентгеновская астрономия началась в 1949 г. благодаря Х. Фридману, который открыл солнечное рентгеновское излучение: *“Основоположниками рентгеновской астрономии в первые три десятилетия исследований были независимо друг от друга Х. Фридман, Р. Джаккони и Б. Росси. Эти три человека способствовали всестороннему развитию методов и аппаратуры, но также и к применению этих методов к научной работе, которые привели к важным открытиям в астрофизике”*.

С.А. ГЕРАСЮТИН

Роль А.Н. Драшусова и Б.Я. Швейцера в истории Астрономической обсерватории Московского университета

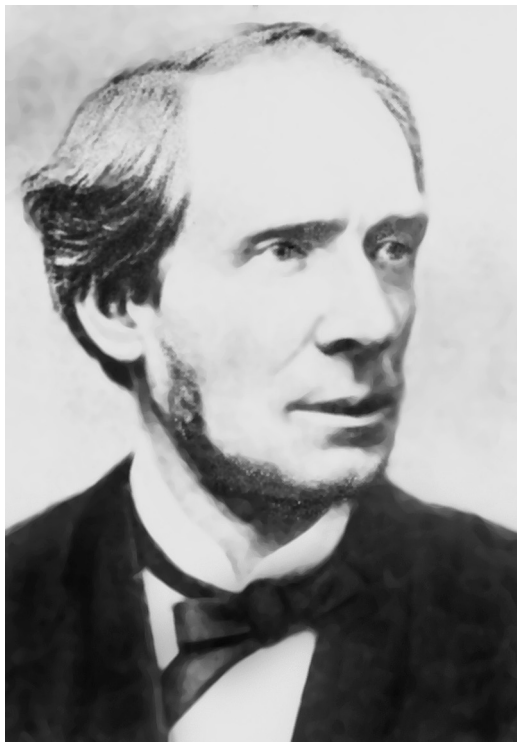
В 2016 г. исполняется 200 лет со дня рождения Александра Николаевича Драшусова (1816–1890) и Богдана Яковлевича Швейцера (1816–1873) – двух астрономов, которые в течение многих лет работали в Астрономической обсерватории Московского университета и сыграли важную роль в ее превращении в один из ведущих центров развития российской науки.

В 1831 г. была основана Астрономическая обсерватория Московского университета. Ее создателем и первым директором стал известный российский ученый, профессор астрономии Московского университета Дмитрий Матвеевич Перевошиков (1788–1880). Следует отметить, что поначалу научная работа в обсерватории практически не велась, и она выполняла в основном учебные функции. В труде «История Астрономической обсерватории Московского университета» астроном и директор обсерватории в 1920–1931 гг. С.Н. Блажко (Земля и Вселенная, 1971, № 1) писал, что обсерватория создавалась без определенного плана научных работ. Ее создатель не был астрономом-практиком, поэтому инструменты обсерватории «оказались скромными, почти бедными, а научные работы ничтожными». «Только в конце 1840-х гг., – продолжал С.Н. Блажко – А.Н. Драшусов, интере-

совавшийся практической астрономией и посетивший много обсерваторий за границей, перестроил обсерваторию университета и снабдил ее надлежащими инструментами; после этого там начались серьезные научные наблюдения, которые были особенно развиты в 60-х годах при Швейцере, прошедшем школу Бесселя и Струве».

Последующие архивные изыскания показали, что оценки С.Н. Блажко раннего этапа истории обсерватории верны лишь отчасти. Из найденных документов видно, что уже в 1824 г. у Д.М. Перевошикова был детально разработанный план создания капитальной обсерватории. Предполагалось ее использовать, в первую очередь, в научных целях. Отсюда жесткие требования ученого к выбору места. Перевошиков также настаивал, что обсерваторию следует возводить на мощном фундаменте, который позволил бы в дальнейшем оснащать ее инструментами все больших и больших размеров.

К сожалению, полностью реализовать план, составленный при участии В.Я. Струве (в то время директора Дерптской обсерватории, в дальнейшем – создателя Пулковской обсерватории), Д.М. Перевошиков не смог. Помешал недостаток средств, а также то, что с начала 1830-х гг. и до середины



А.Н. Драшусов (1816–1890).

1840-х гг. не удавалось заказать для обсерватории требуемые инструменты, так как все европейские приборостроительные фирмы (а их было очень мало) выполняли заказы по изготовлению оборудования для строившейся тогда самой большой в мире Пулковской обсерватории. Ее строительство завершилось в 1839 г., а оснащение инструментами продолжалось еще в течение нескольких лет (Земля и Вселенная, 1990, № 1).

Помимо объективных причин, которые мешали Д.М. Перевощикову довести обсерваторию до полноценного рабочего состояния, были и субъективные. Из-за внутриуниверситетского конфликта попечитель Московского учебного округа С.Г. Строганов по сути

отстранил ученого от управления созданной им обсерваторией, а ее реконструкцию (расширение) и оснащение инструментами поручил ученику Перевощикова – А.Н. Драшусову.

Александр Николаевич Драшусов родился 5 апреля (по ст. ст.) 1816 г. в Москве, в семье выходца из Франции Н.И. Сушарда, который изменил свою фамилию на русский лад, записав ее в обратном порядке и прибавив к ней окончание «ов». В 1831 г. Александр стал студентом физико-математического отделения Московского университета¹. В 1833 г. он завершил обучение, написав (вместе с А.И. Герценом) выпускное сочинение на тему «Аналитическое изложение Солнечной системы Коперника», предложенную выпускникам Перевощиковым. Золотая медаль, полученная А.Н. Драшусовым за это сочинение (Герцен получил серебряную), а также личное вмешательство министра народного просвещения С.С. Уварова позволили Александру Николаевичу остаться при обсерватории. Это случилось вопреки желанию Д.М. Перевощикова, прочившего на это место Н.Е. Зернова, который уже защитил магистерскую диссертацию и помогал Перевощикову в наблюдениях. Скорее всего, такая забота министра о юном выпускнике объяснялась тем, что семье Драшусовых покровительствовал император Николай I.

В декабре 1836 г. по приказу попечителя С.Г. Строганова А.Н. Драшусов за счет университета был отправлен за границу изучать астрономию и физику. За границей Александр пробыл четыре года. Он прослушал несколько курсов и познакомился с работой обсерваторий в Вене, Кенигсберге, Мюнхене, Флоренции и других городах; побывал в оптическом институте Фраунгофера. В Мюнхене Александр Николаевич в физическом кабинете Штейнгеля познакомился с устрой-

¹ В 1850 г. это отделение философского факультета Московского университета было преобразовано в физико-математический факультет.

ством недавно изобретенного электромагнитного телеграфа, а также некоторых других приборов, применение которых в астрономии только начиналось.

Наряду с изучением современных научных методов, подробные сообщения о которых А.Н. Драшусов отправлял в «Журнал Министерства народного просвещения», заграничная командировка оказалась полезной еще и тем, что в Кенигсберге он познакомился с Б.Я. Швейцером и повлиял на его решение переехать в Россию.

В 1840 г., вскоре после возвращения в Московский университет, Александр Николаевич был назначен адъюнктом кафедры астрономии, а в 1844 г. начал читать лекции студентам. В 1843 г. по распоряжению попечителя С.Г. Строганова А.Н. Драшусов (совместно с архитектором А.А. Авдеевым) подготовил проект расширения и переоборудования обсерватории, который затем был рассмотрен и одобрен В.Я. Струве. Проект стал основой модернизации обсерватории, включившей в себя монтаж меридианного круга (изготовленного братьями Репсольдами в Гамбурге), строительство двух малых вращающихся башен для переносных инструментов, установку 118-мм рефрактора Фраунгофера, приобретение пассажного инструмента Эртеля, хронометров и много другого (Земля и Вселенная, 2011, № 1). Кроме того, здание обсерватории было частично перестроено и расширено, а внутренние помещения расписаны орнаментами; была установлена специально изготовленная мебель.

В 1847 г. Александр Николаевич по просьбе Русского географического общества осуществил определение долгот и широт городов Владимирской губернии. Результаты этой работы стали основой магистерской диссертации, которую он успешно защитил в 1850 г. в Киевском университете. В 1847 г. в обсерватории был установлен меридианный круг Репсольда, наладка которо-

го потребовала длительного времени. В 1851 г. А.Н. Драшусов начал на нем наблюдения, избрав в качестве объектов изучения недавно открытый Нептун и малую планету Ириду. В этом же году в связи с уходом Д.М. Перевощикова из Московского университета он был назначен директором обсерватории.

После ухода Д.М. Перевощикова педагогическая нагрузка на нового директора значительно возросла. Но он продолжил наблюдения на меридианном круге, в 1853 г., завершив оснащение обсерватории инструментами, добился от попечителя Московского учебного округа и министра народного просвещения разрешения разместить в мюнхенской мастерской Мерца и Малера заказ на изготовление 10,5-дюймового рефрактора. Его получил и установил уже Б.Я. Швейцер, так как в 1855 г. Александр Николаевич внезапно ушел в отставку, мотивируя свое решение состоянием здоровья. В 1861 г. А.Н. Драшусов издал свой перевод книги Дж. Гершеля «Очерки астрономии» и, помимо этого, никакой научной работой больше не занимался. Умер А.Н. Драшусов 26 ноября (по ст. ст.) 1890 г. в Москве.

Помимо модернизации обсерватории к важнейшим заслугам А.Н. Драшусова следует отнести то, что именно он привлек к работе в обсерватории Б.Я. Швейцера и Ф.А. Бредихина. Александр Николаевич заинтересовал Ф.А. Бредихина астрономией, когда тот был еще студентом физико-математического факультета Московского университета, тем самым предопределив научную судьбу будущего великого ученого (Земля и Вселенная, 1982, № 1; 2015, № 2). В то же время работа А.Н. Драшусова в обсерватории сопровождалась постепенно нараставшим конфликтом с Д.М. Перевощиковым. Исследовавший это разногласие историк С.Н. Корытников полагал, что в его основе лежала борьба в Московском университете партий министра



Б.Я. Швейцер (1816–1873).

С.С. Уварова и попечителя С.Г. Строганова. В нее оказались втянутыми Д.М. Перевощиков и А.Н. Драшусов, причем в противостоявших друг другу лагерях: Перевощиков принадлежал к лагерю сторонников Уварова, Драшусов – Строганова. Одним из следствий этого противостояния стало то, что ответственным за модернизацию обсерватории был назначен не ее директор – Д.М. Перевощиков, а адъюнкт А.Н. Драшусов, допустивший при перестройке здания обсерватории ряд ошибок, приведших к появлению в нем сырости, с которой потом боролись почти полвека.

В 1847 г. Николай I отправил в отставку С.Г. Строганова, а в 1849 г. С.С. Уварова. Несмотря на это, конфликт в Московском университете продолжался. Одной из его жертв стал Д.М. Перевощиков, избранный в 1848 г. ректором университета. В 1850 г. указом императора выборность ректоров отменили, что послужило толчком

к ожесточенной травле заслуженного ученого. Она завершилась уходом Д.М. Перевощикова из Московского университета; директором обсерватории назначили А.Н. Драшусова, который, по-видимому, осознавал шаткость своего положения в университете. Внезапное решение об отставке им было принято вскоре после смерти Николая I, который покровительствовал семье Драшусова.

После ухода А.Н. Драшусова обсерватория почти год простояла закрытой. Главная заслуга Б.Я. Швейцера состоит в том, что научная работа в обсерватории не только возобновилась, но и была поднята на мировой уровень.

Богдан Яковлевич (Каспар Готфрид) Швейцер родился 10 февраля 1816 г. в г. Виль Цюрихского кантона Швейцарии в семье пастора. В 1836 г. по настоянию отца Каспар поступил в Цюрихский университет на теологический факультет. Вскоре, однако, он увлекся астрономией и в 1839 г. стал обучаться в университете Кенигсберга, где изучал этот предмет под руководством В.Ф. Бесселя. В 1841 г. Б.Я. Швейцер окончил университет. Не найдя работы в Германии, он переехал в Россию и в качестве внештатного астронома-наблюдателя поступил на службу в Пулковскую обсерваторию. Работая там под руководством В.Я. Струве, Б.Я. Швейцер принял участие в составлении фундаментального каталога звезд до 7-й величины. Кроме того, ученый занимался картографическими исследованиями и участвовал в работах по определению разности долгот между обсерваториями в Пулково и в Альтоне (Германия).

В 1845 г. в поисках большей самостоятельности Б.Я. Швейцер переехал в Москву. Получив должность внештатного ассистента обсерватории, он вместе с А.Н. Драшусовым активно занялся ее реконструкцией и размещением там нового оборудования. В 1847 г. Богдан Яковлевич сдал экзамен на степень кандидата, в 1849 г. его назначи-

ли исполняющим должность адъюнкта при кафедре астрономии Московского университета. Параллельно с работой в университете ученый в 1852 г. начал работать в Константиновском межевом институте. Сотрудничество с институтом длилось до конца 1860-х гг.; на Б.Я. Швейцера были возложены обязанности заведования созданной в 1845 г. небольшой обсерваторией, также он проводил занятия со студентами по практической астрономии. Кроме того, он принял участие в организации и проведении более десятка астрономо-геодезических и гравиметрических экспедиций.

Ввиду отсутствия высокоточных инструментов Богдан Яковлевич занялся поиском новых комет. В 1847–1855 гг. он открыл 11 комет. Правда, семь из них оказались уже известными, но четыре сохранили имя Швейцера как первооткрывателя. В 1845–1848 гг. астроном

осуществил высокоточное определение широты обсерватории, а также широты восьми мест около Москвы. За эту работу в 1848 г. он получил степень доктора философии Кенигсбергского университета. В 1856 г. Богдана Яковлевича назначили директором обсерватории и в этом же году избрали профессором астрономии Московского университета (из-за плохого знания русского языка ему пришлось преподавать только практическую астрономию).

В 1859 г. Б.Я. Швейцер при активном участии молодых астрономов Ф.А. Бредихина и М.Ф. Хандрикова завершил реконструкцию обсерватории, включая установку на ней рефрактора Мерца, заказанного еще А.Н. Драшусовым, и вращающегося купола.

Важно отметить, что, привлекая к реконструкции обсерватории молодых сотрудников, Богдан Яковлевич поло-



Астрономическая обсерватория Московского университета после реконструкции, 1840–1850-е гг. Фото, выполненное Б.Я. Швейцером в 1864 г.

ИЗСЛЕДОВАНИЕ МЪСТНОЙ АТТРАКЦИИ,

СШЕЙЦЕР

ОКОЛО МОСКВЫ

СООБЩЕНИЯ ПЕРВОЕ И ВТОРОЕ.

3575
1984
А. ОБСЕРВАТОРИИ
302.
А.М.У.

Б. ШВЕЙЦЕРА.

МОСКВА.



УНИВЕРСИТЕТСКАЯ ТИПОГРАФИЯ.
1862.

Титульный лист монографии Б.Я. Швейцера, посвященной изучению Московской гравитационной аномалии.

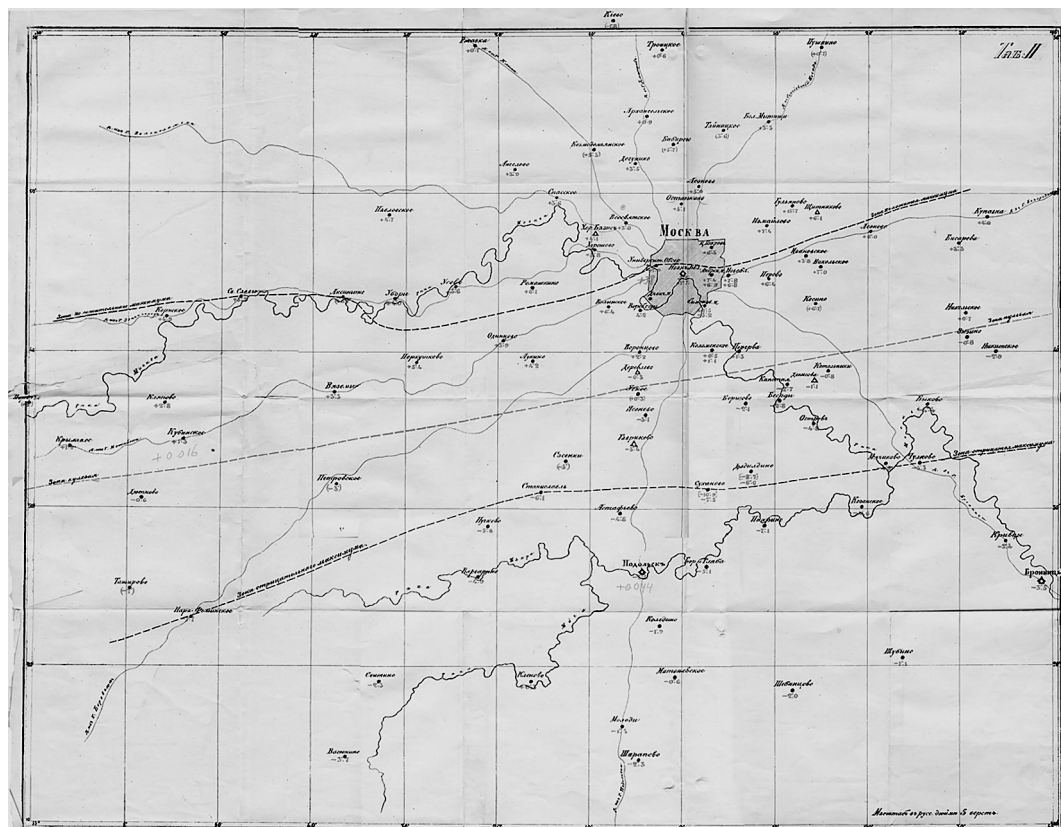
жил начало формированию Московской астрономической школы. Позже в нее вошли А.А. Белопольский, С.Н. Блажко, В.К. Цераский и другие ученые, научные труды которых получили мировую известность. Знания, полученные Б.Я. Швейцером в обсерваториях В.Ф. Бесселя и В.Я. Струве и переданные ученикам, а также необходимость от начала и до конца выполнять своими руками монтаж и наладку оборудования, позволили ему воспитать плеяду ученых-универсалов, спо-

собных «переключаться» на принципиально новые методы наблюдений. Именно поэтому (в отличие от Пулковской и некоторых других российских обсерваторий) в обсерватории Московского университета уже на рубеже 1860–1870-х гг. наметился широкий круг астрофизических исследований. В частности, первые спектроскопические исследования в обсерватории были начаты в 1869 г. Богданом Яковлевичем, который смонтировал на рефракторе Мерца приобретенный им в Мюнхене спектроскоп и начал наблюдения протуберанцев на Солнце.

Научные интересы Б.Я. Швейцера не ограничивались астрономией и зарождавшейся астрофизикой. Главной его научной работой по праву считается выполненное им исследование Московской гравитационной аномалии. На возможность существования этой аномалии внимание Богдана Яковлевича обратил астроном-геодезист Отто Струве (сын В.Я. Струве), рассказав о том, что во время проведения в 1839 г. геодезической съемки Московской губернии были отмечены значительные (300 м и более) расхождения между значениями координат, определяемыми геодезическими и астрономическими методами. Причиной этих расхождений являлось то, что линия отвеса, используемого в геодезических инструментах, оказалась не перпендикулярна к поверхности Земли. Это могло быть вызвано, например, существенными неоднородностями плотности грунта в этом районе.

Первые измерения отклонений отвеса Б.Я. Швейцер провел в 1848 году². Затем, в ходе организованных им экспедиций в 1853 г., 1858 г. и в 1859 г. Богдан Яковлевич при содействии студентов Межевого института осуществил детальную гравиметрическую

² Согласно модели В.Ф. Бесселя, которую использовал Б.Я. Швейцер, в качестве вертикали, от которой отсчитывалось отклонение отвеса, брался перпендикуляр к касательной плоскости в данной точке поверхности Земли, рассматриваемой как эллипсоид вращения.



Карта Московской гравитационной аномалии, составленная Б.Я. Швейцером.

съемку территории Московской губернии. В 1862 г. ученым был издан труд «Исследование местной аттракции, существующей около Москвы», содержащий математически обработанные результаты измерений и карту аномалии. На карте было видно, что линия нулевых значений отклонения отвеса проходит на 12 км южнее центра Москвы, почти по параллели. Симметрично по отношению к этой линии, на расстоянии ± 12 км от нее, проходят линии положительных (к северу) и отрицательных (к югу) максимумов отклонения, достигающие 9 угловых секунд.

Причину аномалии удалось выявить лишь в ходе геологических исследований в середине XX в., когда стали применяться глубинные бурения. Исследования показали, что в гигантской

базальтовой платформе, на которой расположен Московский регион, примерно сто миллионов лет назад образовался длинный узкий разлом, ушедший вглубь на 1,5–2 км. Повреждения платформ такого рода известный советский геолог академик АН СССР Николай Сергеевич Шатский (1895–1960), занимавшийся много лет вопросами тектонического строения Земли, предложил называть авлакогенами (от греч. *áulax* – “борозда” и *génos* – “рождение”). Московский авлакоген расположен на линии Можайск – Ногинск. Его длина более 200 км, максимальная ширина – 24 км. Отвес, находящийся над авлакогеном, занесенным менее плотными осадочными породами, отклоняется к одному или к другому краю разлома, что приводит к

появлению описанных Швейцером линий положительных и отрицательных максимумов, а также о расположенной между ними линии нулевых отклонений.

Книга Б.Я. Швейцера была переведена на несколько европейских языков и удостоена золотой медали Русского географического общества, а ее автор по праву может считаться пионером российской гравиметрии – науки, изучающей гравитационное поле Земли. В 1866 г. в университетской типографии была издана брошюра «Описание обсерватории Московского университета и ее главных инструментов. Речь, написанная для университетского акта 12 января 1866 г. Б. Швейцером, директором университетской обсерватории». Эта брошюра содержала множество интересных подробностей о перипетиях реконструкции обсерватории и выполненных ее сотрудниками научных исследованиях³. В частности, ученый подробно рассказал о роли телеграфного сообщения при определении М.Ф. Хандриковым (Москва) и П.М. Смысловым (Петербург) разности долгот между Московской и Пулковской обсерваториями. В своей речи Богдан Яковлевич также наметил планы предстоящих научных работ, которые позволили бы небольшой университетской обсерватории занять достойное место среди других, гораздо лучше оснащенных обсерваторий.

«Выбор достойной работы, – писал Б.Я. Швейцер, – представляет некоторые трудности. Астроном находится не только в зависимости от климата, который, кстати сказать, в Москве не очень благоприятен для наблюдений, но также и от местных условий. После многих опытов и соображений я пришел

к тому убеждению, что при наших условиях, при которых мы не можем все наше время и силы нераздельно посвятить наблюдениям, ибо на нас лежат и другие служебные обязанности, благоразумнее всего будет выбрать, как работу на меридианном круге, так называемые относительные определения, а абсолютные представить таким обсерваториям, как Пулковская, которая обладает для этого всеми средствами и полнотой личного состава». Богдан Яковлевич обосновывает выбор подходящих задач: определение параллакс некоторых неподвижных звезд, наблюдение неожиданно возникающих явлений (в основном, комет) и затмений. Он также указывает на важность определения разности долгот между обсерваториями и на продолжение изучения гравитационной аномалии. В своей речи Б.Я. Швейцер не говорил об астрофизических наблюдениях, но именно они стали той исключительно важной областью исследований, в которую успешно вписалась обсерватория на Пресне, став со временем лидером астрофизических исследований в России и в СССР.

К сожалению, в большинстве намеченных работ Б.Я. Швейцеру не довелось принять участие. В конце 1860-х гг. он тяжело заболел (рак желудка), но, несмотря на болезнь, продолжал активно трудиться. Богдан Яковлевич Швейцер умер 24 июня (по ст. ст.) 1873 г., занимаясь подготовкой экспедиции для наблюдений предстоявшего в 1874 г. транзита Венеры по диску Солнца.

*Ю.Л. МЕНЦИН,
кандидат физико-математических наук
ГАИШ МГУ*

³ Ранее эта речь вышла в «Московских университетских известиях».

Международная астрономическая олимпиада в Казани

С 15 по 23 октября 2015 г. в Казани прошла XX Международная астрономическая олимпиада, организованная Астрономическим обществом, Министерством образования и науки Рес-

спублики Татарстан и кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета. Проводимая ежегодно Международ-

ная астрономическая олимпиада (*International Astronomy Olympiad*) – образовательно-просветительское интеллектуальное состязание по астрономии для школьников в возрасте



Жюри и российские участники Олимпиады на открытии.



Здание Планетария Казанского федерального университета.

от 14 до 18 лет. Участники Олимпиады – это школьники, поскольку именно в таком возрасте проявляется интерес к астрономии. При подготовке к участию в олимпиаде школьники специально углубленно изучают многие аспекты астрономической науки, поэтому во время Олимпиады ребята, как правило, демонстрируют высокий уровень теоретических и практических знаний. Одна из основных задач Олимпиады – привлечь талантливую молодежь к проблемам астрономии и естественных наук.

Согласно “Положению о Международной астрономической олим-

пиаде”, она проводится ежегодно в первые два месяца осени в астрономической обсерватории (или в другом научно-исследовательском Центре или Институте) одной из стран-участниц.

Первая Олимпиада состоялась в 1996 г. в Специальной астрофизической обсерватории РАН (пос. Нижний Архыз, Зеленчукского района, Карачаево-Черкесской республики, Россия). В 2002 г. Россия в последний раз “принимала” Олимпиаду, в последующие годы она проводилась в Казахстане, Южной Корее, Литве и в Киргизии. Традиционно программа Олимпиа-

ды делится на три тура: *теоретический, наблюдательный и практический*; каждый этап имеет свои особенности.

В *теоретическом* туре участникам предлагаются традиционные задачи на знание основных законов астрономии и физики, на понимание свойств астрономических объектов и вычисление их характеристик.

Практический тур содержит задачи, в которых участникам предлагается проанализировать астрономические данные (таблицы, графики, численные наблюдательные данные, звездные карты) и по ним получить конкретные результаты.



Звездный зал Планетария, где проводился "наблюдательный" тур Олимпиады.

Наблюдательный тур предполагает проведение астрономических наблюдений невооруженным глазом или с помощью телескопа; на этом этапе нужно продемонстрировать свои знания Звёздного неба и работы с астрономическими инструментами.

Согласно Положению, в состав жюри должны войти представители Оргкомитета принимающей стороны, поэтому неслучайно в организации и проведении XX Международной астрономической олимпиады активное участие приняли сотрудники и студенты кафедры астрономии и космической геодезии Казанского федерального университета. Члены жюри отвечали за подготовку задач практического и наблюдательного туров, а студенты помогали организовывать наблюдательный тур, который проходил

на территории Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта (Земля и Вселенная, 2009, № 1).

В Олимпиаде приняли участие 62 школьника из 13 стран и территорий, сформировавших свои команды (Армения, Болгария, Индия, Италия, Казахстан, Китай, Московский край, Россия, Румыния, Таиланд, Чехия, Швеция и Южная Корея).

Школьники были поделены по возрасту (и с учетом разной сложности задач) на две группы: "Альфа" (начинающие любители астрономии, 2000–2001 г.р.) и "Бета" (более опытные школьники, 1997–1999 г.р.).

Приведем примеры задач, предложенных участникам Олимпиады на разных турах (полностью условия задач и прилагавшиеся сопроводительные материалы можно посмотреть

на сайте: <http://www.issp.ac.ru/iao/2015/booklet/>).

17 октября проводился *теоретический тур*, на нем участникам было предложено пять задач.

1. Полдень на Олимпиаде. Вчера, 16 октября 2015 г., верхняя кульминация Солнца в месте проведения Олимпиады в 11:29:43 местного времени. Вычислите – насколько возможно точно – в какое время верхняя кульминация Солнца будет (или была) сегодня. Оцените разницу h высоты Солнца в кульминации вчера и сегодня.

2. Затмение на полюсах. Белый Медведь и Пингвин с прошлых Международных астрономических олимпиад возвратились на свои полюса (северный и южный соответственно) и решили пронаблюдать кольцеобразное солнечное затмение. Пингвину посчастливилось, и он увидел удивительную картину: при максимальной фазе затмения точно на видимом горизонте оказались центры как солнечного, так и лунного диска. А что в это время наблюдал Медведь? Нарисуйте, что увидел Белый Медведь в этот момент, а также нанесите пунктиром истинные по-



Участники Олимпиады в Планетарии во время выполнения задания “наблюдательного” тура. Инструктаж проводит член жюри профессор И.Ф. Бикмаев.

ложения Солнца и Луны. Форму Земли считать сферической. На рисунке должно быть художественное изображение Медведя на северном полюсе, а также указаны необходимые линейные или угловые размеры. Необходимые сведения о животных вспомните сами.

3. Тесное соединение. Через некоторое время после событий, описанных в предыдущей задаче (но никто не знает даже масштаб этого некоторого времени – минуты, часы, дни или

годы...), Венера в точке восточной элонгации вступила в тесное соединение с Марсом, находившимся вблизи точки афелия своей орбиты. Одновременно с этим на Земле наблюдалось полное лунное затмение.

3.1. Нарисуйте чертеж, соответствующий данной ситуации.

3.2. Объясните, какое животное (они сидят на тех же полюсах) могло увидеть это лунное затмение. (Закончите Ваше объяснение ответом **В+** или **В–** для Медведя и **Р+** или **Р–** для Пингвина).

Приветствуется художественное изображение наблюдающих животных.

3.3. Вычислите, в каком созвездии наблюдалась затемненная Луна.

3.4. Оцените, через какое минимальное время после ситуации, описанной в условии прошлой задачи, могла возникнуть ситуация, описанная в условии этой задачи.

Четвертая и пятая задачи были разными для групп “Альфа” и “Бета”.

4а. Альфа Центавра. Вычислите, какая звезда излучает больше энер-



Участники Олимпиады во время выполнения задания "практического" тура.



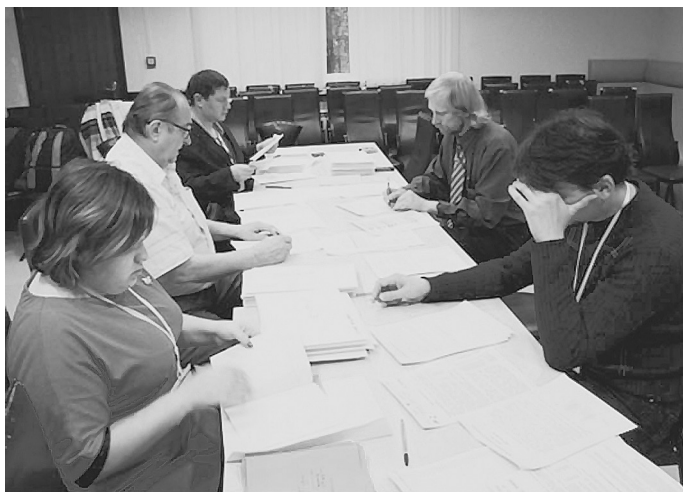
Российские победитель и призеры Олимпиады.

гии: Солнце или Альфа Центавра A + B?

46. Созвездие Белого Барса. Согласно древней средневожской легенде, в далеком прошлом на небе существовало созвездие Белого Барса (White Leopard – *Pardus Album*), число звезд в котором было в точности равно числу букв греческого алфавита, и звезды эти имели величины α PaA – $+0,10^m$, β PaA – $+0,20^m$, γ PaA – $+0,30^m$, δ PaA – $+0,40^m$ и так далее, с увеличением на $0,10^m$ вплоть до ω PaA. Вычислите суммарную звездную величину звезд этого созвездия.

5. Движение спутника. Искусственный спутник Земли, летящий по экваториальной, немного эллиптической орбите, прошел точку перигея на высоте $H_p = 428,0$ км от поверхности мирового океана; его скорость в этот момент на $0,6\%$ превышала круговую скорость для данной точки. Через какое время спутник достигнет высоты $H_1 = 498,0$ км?

6. Спиральная галактика. В созвездии Южного Креста (Crux) обнаружена спиральная галактика, состоящая из звезд спектральных классов A7-A8. На небе галактика видна как эллипс с размерами около $40-30''$. В спектре галактики на длинах волн примерно от $7054 \text{ \AA}$ до $7057 \text{ \AA}$ наблюдается уширенная линия H_{α} . Также пропорционально смеще-



Члены жюри Олимпиады Э.Р. Хисматова, Г.В. Жуков, А.И. Галеев, Р.Я. Жучков, С.С. Мельников проверяют выполненные задания "практического" тура.



Заккрытие Олимпиады.

ны и уширены и другие линии. Оцените число звезд в галактике.

20 октября проводился *практический тур*. В заданиях, предложенным участникам, были использованы оригинальные наблюдатель-

ные данные, полученные казанскими астрономами. В первой задаче, одинаковой для обеих групп, предлагалась таблица звезд на разных высотах, составленная в Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта.



Победители Олимпиады с Председателем Олимпиады М.Г. Гавриловым.

Нужно было вычислить изменения их звездных величин, построить зависимость между звездной величиной и воздушной массой и оценить, какая звездная величина должна быть у этого светила в зените. Во второй задаче в обеих группах были использованы данные наблюдений, полученные на 1,5-метровом российско-турецком телескопе Казанского федерального университета (находится в Национальной обсерватории TUBITAK, Турция). Школьники группы "Альфа" по наблюдениям переменной звезды строили кривую изменения ее блеска, определяли

период переменности, а также тип переменности звезды. Группа "Бета" работала со спектрами звезды, полученными в разные даты в течение нескольких месяцев. В результате вычислялись лучевые скорости звезды, строились кривые лучевых скоростей и находились координаты звезды на небе.

Наблюдательный тур проводился вечером 18 октября в обсерватории. Обычно организаторы стараются подготовить задания, связанные с наблюдением Звездного неба. Несмотря на то, что в этот день в Казани стояла облачная погода, сотрудники кафедры аст-

рономии и космической геодезии Казанского федерального университета, разрабатывавшие задачи, смогли успешно выйти из этого трудного положения! — Для работы с телескопами они сконструировали платинку с "искусственным созвездием" из светодиодов, подвешенную между деревьев на расстоянии 120 м от наблюдателя. Каждый школьник видел светящуюся точку в темноте, должен был "наводиться" на нее, распознать по увиденной фигуре созвездие и написать его латинское название.

Зная, что вероятность хорошей погоды

в это время невелика, организаторы заранее решили использовать “искусственное” небо открытого в 2013 г. современного Планетария Казанского университета, который находится на территории обсерватории им. В.П. Энгельгардта. Участникам Олимпиады нужно было решить две задачи, причем выполнялись они в темноте, поэтому каждому вручался фонарик для чтения условия задачи и записи его решения.

В первой задаче на куполе Планетария демонстрировалось полное затмение Луны и предлагалось определить, в какой месяц происходит наблюдение. Задание довольно необычное: ведь ребятам нужно было понять, что за явление они наблюдают, увидеть, в каком созвездии находится Луна, сообразить, в каком созвездии в этот момент находится Солнце, чтобы определить месяц наблюдений.

Во второй задаче (“Движение планет”) в течение 5 мин демонстрировалась анимация движения Солнца, Луны и планет по Звёздному небу. Необходимо было определить по Солнцу и Луне примерные даты начала и конца показа, написать названия созвездий, по которым в это время перемещались Марс и Венера. Дополнительная сложность заключалась в следую-



Руководители команд на закрытии Олимпиады.



Руководители команд и организаторы: А. Вэстерберг (Швеция), Е.В. Осипова (секретарь Оргкомитета), Й. Кокотанекова (Болгария), Е. Божурова (Болгария), М.Г. Гаврилов (председатель Олимпиады), А.И. Галеев (член жюри).

щем – планеты двигались по созвездию Змееносца.

Участники Олимпиады показали высокий уровень знаний. Впечатление на жюри произвел школьник возрастной группы “Альфа” из Таиланда: на практическом

туре он решил первую задачу, используя метод наименьших квадратов, во второй самостоятельно, через производные, оценил точность определения периода переменности звезды. Такими знаниями обычно обла-



Школьники-участники Олимпиады и члены жюри Оргкомитета из Казани.

дают студенты, тогда как для ученика 8–9 класса – это исключительно высокий результат.

Кто же стал победителем Олимпиады? Согласно “Положению об Олимпиаде”, призовые места и дипломы получают участники, набравшие определенное число баллов по результатам всех трех туров олимпиады, поэтому дипломы “одной степени” могут получить несколько человек.

Абсолютное первое место в группе “Альфа” получили одновременно три школьника: девятиклассник из гимназии № 1 г. Жуковского Да-

ниил Долгов, Панупонг Пхуумпуанг (Таиланд) и Сеонг Мин Ли (Южная Корея).

В группе “Бета” победителями стали два участника: Хюнгсео Ан (Южная Корея) и Стефан Иванов (Болгария). Дипломы второй степени получили 16 школьников, в том числе восьмиклассник из Москвы Иван Старостин и представители группы “Бета” Борис Билич (9 класс) и Алексей Шепелев (10 класс) – оба учатся в лицее № 14 г. Жуковский.

Дипломов третьей степени удостоились 19 ребят, среди которых: в группе “Альфа” – Алек-

сей Ярков (8 класс, Санкт-Петербург) и Игорь Никоноров (9 класс, Казань); в группе “Бета” – Илья Чугунов (9 класс, Санкт-Петербург), Алена Фидусь (10 класс, Белгород) и Виктор Зозуля (9 класс, Санкт-Петербург).

Несколько школьников получили дипломы в специальных номинациях: например, “За лучший результат в теоретическом туре” – Иван Старостин, “За лучший результат в практическом туре” – Борис Билич, “За лучший результат в наблюдательном туре” – Пьетро Бенотто (Италия). Один из участников

(Корея) получил диплом за лучшее изображение белого медведя-астронома.

Восемь дней, в течение которых в Казани проходила Олимпиада, пролетели очень быстро. Юные астрономы очень плодотворно работали, решая сложные задачи, общались друг с другом в свободное время, побывали на интересных экскурсиях по Казани, Казанскому университету, увидели Ка-

занский кремль; ребята посетили Татарский государственный академический театр оперы и балета им. Мусы Джалиля, Государственный историко-архитектурный и художественный музей "Остров-град Свияжск", Астрономическую обсерваторию им. В.П. Энгельгардта, а также прослушали лекцию в Планетарии.

На следующей Международной Олимпиаде школьники, увлекающие-

ся астрономией, соберутся осенью 2016 г. (с 5 по 13 сентября) в Болгарии.

*А.И. ГАЛЕЕВ, кандидат
физико-математических наук,
Астрономическая
обсерватория
им. В.П. Энгельгардта
М.Г. ГАВРИЛОВ, кандидат
физико-математических наук,
председатель
Международной
астрономической олимпиады
ИФТТ РАН,
г. Черноголовка,
Московская область*

Информация

Детали пылевого диска вокруг звезды

С помощью 8,2-м Очень Большого Телескопа Европейской Южной Обсерватории в Чили (ESO) впервые получен самый детальный снимок газопылевого диска вокруг протозвездной двойной звезды IRAS 08544–4431, находящейся на расстоянии 4 тыс. св. лет от нас в юж-

ном созвездии Парусов (см. стр. 4 обложки). Эта двойная состоит из красного гиганта, который уже выбросил большое количество вещества в окружающий его пылевой диск, и обычной, более молодой звезды, обращающейся вокруг гиганта на близком расстоянии. Когда звезды приближаются к завершению эволюции (например, на стадии красного гиганта), их вещество интенсивно выбрасывается звездным ветром и вокруг многих из них образуются устойчивые газопылевые диски. Ученым удалось выявить структурные особенности системы IRAS 08544–4431: во внутренней кромке

кольца обнаружено испарение пыли под воздействием излучения, а также утолщение внешней области, что, возможно, свидетельствует о формировании второго поколения планет. Вокруг молодых звезд существуют аналогичные образования, называемые протопланетными дисками, именно в них рождаются планеты. Впервые появилась возможность сравнить диски около старых и молодых звезд – неожиданно они оказались очень похожими. Теперь необходимо установить, могут ли из диска старой звезды образовываться планеты.

Пресс-релиз ESO,
9 марта 2016 г.

Косминта, ее образование и эволюция

Г.П. АКСЁНОВ

Институт истории естествознания и техники
им. С.И. Вавилова РАН

Открытие В.И. Вернадским равной продолжительности геологической и биологической истории Земли позволяет считать, что все твердые сферические небесные тела – планеты. Только они прошли через этап

биосфер. Планеты-гиганты Солнечной системы относятся к другому классу тел, к звездам. В пределах Солнечной системы существует пять одинаковых групп, состоящих из газового центра и обращающихся вокруг него пла-

нет. Такое единство тел можно назвать космической интеграцией – косминтой. Все косминты образовались в разное время, но по одному сценарию, прошли определенные этапы биосферной и геологической эволюции.

ПЛАНЕТА
С БИОСФЕРНОЙ ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ

18 января 1942 г. можно считать точной датой окончания монополии гелиоцентризма в картине мира и поворота к новому геоцентризму. В этот день на казахстанском курорте Боровое перед группой эвакуированных из Москвы коллег академик В.И. Вернадский сделал доклад “О геологических оболочках Земли как планеты”, вскоре напечатанный в академическом журнале в виде статьи.

В докладе ученый изложил главную идею книги, над которой работал тогда и которая впервые вышла много позже его смерти, – “Химическое строение биосферы Земли и ее окружения”. Высказанная идея, а, точнее сказать, новая научная парадигма вводила жизнь в форме биосферы в научное представление о мироздании. Оживленная Земля – не исключение в ряду подобных ей небесных тел, – заявил Вернадский, – наоборот, – она есть типичная планета. Планетообразующие за-

кономерности существования живого вещества в ее биосфере – универсальны, они действуют всегда и везде.

В сущности произошло решительное изменение взгляда на Вселенную. Центр всех событий в Солнечной системе или управляющая роль переходит к Земле и подобным ей телам. Согласно парадигме Вернадского, построена геохимическая (она же кибернетическая) картина мироздания, в которой не звезды, а планеты играют главную роль в космосе. Разумеется,

такой взгляд не опровергает геолиоцентризм в его механической части, он становится частным случаем более общей и гораздо более сложной картины мира.

Традиционное мнение о Земле, на которой химическим путем случайно возникла жизнь, опровергалось всем научным творчеством Вернадского. Он создал геохимию (и вслед за ней науку о биосфере – биогеохимию), затем радиогеологию, глубокое учение о биологическом времени и пространстве. Новые науки позволили ему описать биосферу как планетное – следовательно, космическое явление. Живое вещество, как он назвал совокупность, или систему жизни на планете, не могло появиться случайно. В 1921 г. в лекции “Начало и вечность жизни” он сделал такое заключение: “Признавая биогенез, согласно научному наблюдению, за единственную форму зарождения живого, неизбежно приходится допустить, что начала жизни в том Космосе, какой мы наблюдаем, не было, поскольку не было начала этого Космоса. Жизнь вечна постольку, поскольку вечен Космос, и передавалась всегда биогенезом. То, что верно для десятков и сотен миллионов лет, протекавших от архейской эры и до наших дней, верно и

для всего бесчисленного хода времени космических периодов истории Земли. Верно и для всей Вселенной”.

Вернадский в течение 20 лет расшифровывал эту общую идею и в докладе 1942 г. уже опирался на твердые факты космичности жизни. Космос не просто пригоден для жизни, он не полон без нее. Биосфера – необходимый посредник между потоками энергии и материей. Какие космические силы мы знаем? – спрашивает он. Их три: радиоактивное излучение, солнечная радиация и космическое проникающее излучение. Ясно и доказано, что первые два вида излучений необходимы для жизни напрямую: радиоактивный распад тяжелых атомов создает теплоту недр и поверхности планеты, необходимую и достаточную для живого вещества; солнечная радиация утилизируется бактериями и зелеными растениями. Космические проникающие излучения, – утверждал ученый, – проходят через все тела планеты и совершают еще непознанную, таинственную работу. Ясно только, что они есть самое главное энергетическое явление в космосе и составляют его фундамент.

Доказанные геохимически эмпирические факты, обнаруженные при изучении Земли, Вернадский суммирует и распро-

страняет на все тела такого же типа, которые он называет планетами земного класса. Изучая Землю, мы фактически выявляем те закономерности ее строения и движения, общие для всех планет. Он называет пять главных признаков планетарности:

- эти тела твердые, холодные, их форма приближается к правильной фигуре вращения, то есть шарообразна;

- все они состоят из химически и физически разнообразных оболочек и обладают атмосферой;

- все планеты индивидуальны;

- на двух из них – на Марсе и Венере – возможны биосферы;

- газы планетных атмосфер биогенны.

Таковы планеты земной группы. Вернадский привел схему (не называя ее геоцентрической) строения нашего участка мироздания. Оно состоит из концентрированных оболочек, начиная от центра планеты до высоты 1000 км над уровнем геоида и неопределенно выше. Разумеется, центральной оболочкой для них служит биосфера. Ее влияние распространяется на ближайшие к ней геосферы – атмосферу, гидросферу, верхнюю часть литосферы и – через них – на другие оболочки. Эта схема принципиальна – она описывает новое строение ближайшего к нам мироздания,

где жизнь в виде биосферы является информационным, энергетическим и физико-химическим центром, определяющим главные черты строения Земли как типичного небесного тела.

В другой работе 1943 г. "О состояниях пространства в геологических явлениях Земли. На фоне роста науки XX столетия" Вернадский повторяет мысль о типичности Земли в космосе и подчеркивает, что к ней относятся только ближайшие к Солнцу планеты земной группы, а планеты-гиганты и их спутники – совсем другие тела. Различие между двумя классами планет принципиально. Он исходил из очень скудной информации своего времени о планетах-гигантах и практически ничтожных сведений об их спутниках. Однако теперь мы можем прямым измерением проверить набор планетных признаков, приведенных Вернадским. Мы видим, что они ничуть не устарели. Обнаружилось, что кардинальное различие между твердыми планетами земного типа и планетами-гигантами полностью подтвердилось.

"УПАКОВКА" ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В 1979–1989 гг. АМС "Вояджер-1 и -2" исследовали все планеты-гиганты. Оказалось, что они не имеют ничего об-

щего с планетами земного типа, так как у них нет поверхности. Эти тела, скорее, похожи на звезды – газовые. Зато их спутники твердые и разделены на два типа тел. Их большинство не отвечает признакам планетарности. По своему составу они однотипны: куски льда и глыбы скальных пород разнообразных форм размерами 1–250 км. Но массивные спутники гигантов имеют все указанные признаки планет земного типа: например, галилеевы спутники Юпитера, Титан и Энцелад – Сатурна, Тритон – Нептуна. Некоторые из них сейчас уже считаются кандидатами на обнаружение жизни (или ее следов).

Все это тела явно одного класса, они близки по массе – $n \times 10^{20} - 10^{24}$ кг, твердые и шарообразные и в то же время удивительно индивидуальные. По этому признаку нет никакого стандарта. Они различаются по альбедо, по цвету, характеру поверхности, по геологическому строению, соотношению льда и горных пород, по составу атмосферы и другими особенностями. Большая часть таких сферических тел, как правило, имеют какой-либо признак, которого нет у других планет.

Земля – самая крупная из планет земного типа и чемпион по всем показателям – по массе, плот-

ности, разнообразию оболочек. Кроме того, у некоторых сферических планет есть и другие указанные Вернадским общие черты, прочно роднящие их с Землей, например атмосфера. Все они обращаются вокруг своих центральных тел в плоскости их экваторов и почти по круговым орбитам.

Таким образом, среди тел Солнечной системы мы имеем все основания выделить 23 сферических крупных тела, удовлетворяющих указанным выше признакам: массивные, шарообразные, обладающие геологической поверхностью, частую и атмосферами. Они называются планетами.

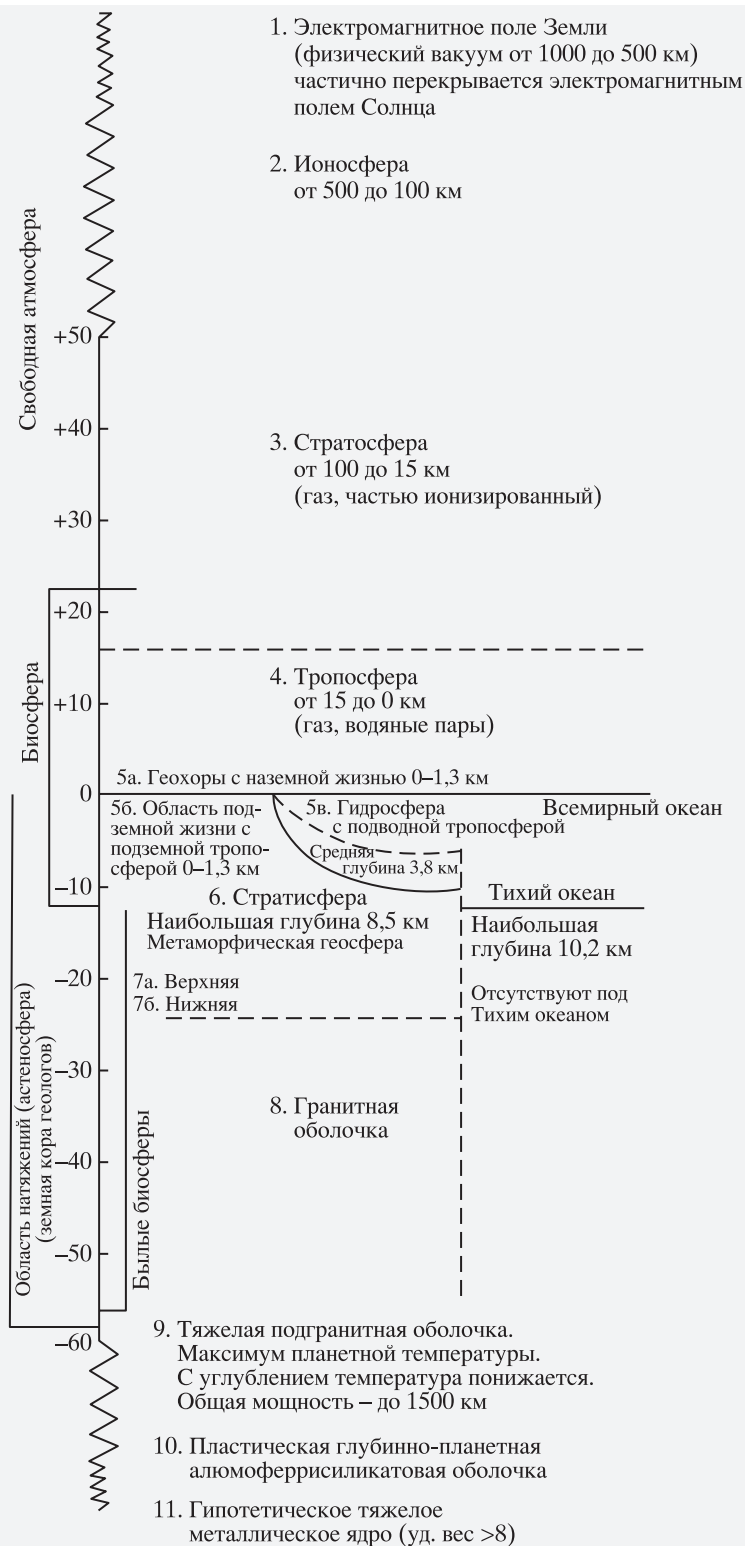
Следующее важнейшее открытие, сделанное АМС "Вояджер-1 и -2", – подтверждение существования колец вокруг всех планет-гигантов.

Как же распределяются планеты и кольца в пространстве, как они организованы?

Проведем несложный мысленный опыт: проведем границу по внешнему поясу астероидов. Тогда Солнце с планетами земной группы и своим кольцом астероидов без планет-гигантов во всем будет подобно Сатурну со своими кольцами и планетами.



Геологические оболочки и геосферы Земли. Схема В.И. Вернадского.



Точно также устроено семейство Юпитера со своими четырьмя галилеевыми спутниками и всеми остальными. Очень стройно выглядит и Уран со своими пятью планетами и Нептун со своими спутниками, из которых значим только Тритон.

Получается, что Солнечная система обладает всеми признаками фрактальности, она фактически состоит из пяти полностью подобных образований. В центре каждого находится газовое тело, вокруг него обращаются твердые тела разнообразного состава и строения, а также концентрические кольца или их остатки, ведущие себя как единое тело. Возникает простая мысль, что

поскольку все такие системы тел одинаково организованы, они не случайны – здесь действуют некие закономерности.

Сегодня все эти ансамбли, то есть собрания тел вокруг Юпитера или Урана, к примеру, носят название система, или семейство. Во избежание путаницы каждое такое семейство (плюс группа Солнца с планетами земного типа и поясом астероидов) удобно называть космической интеграцией, или косминтой. Теперь мы можем представить Солнечную систему как структуру, состоящую из пяти косминт.

Солнечная система предстанет перед нами чем-то вроде космической огромной молеку-

лы, состоящей из пяти космических атомов, совершенно одинаково устроенных. Но является ли такое разделение корректным? Некоторые численные соотношения дают право полагать, что для такого разделения есть основания, а значит, такая целостность открывает перед нами новые исследовательские перспективы.

Если мы суммируем массу спутников в каждой косминте и сравним ее с массой своего газового центра, то возникают простые соотношения, которые указывают на некоторый порядок.

В таблице учитывались самые значимые тела для каждой косминты. Массы осталь-

Таблица I

СОСТАВ КОСМИНТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Газовый центр	Планеты	Кольцевые структуры
Солнце	Меркурий, Венера, Земля, Луна, Марс, Церера	Пояс астероидов
Юпитер	Ио, Европа, Ганимед, Каллисто	Кольца и их фрагменты
Сатурн	Мимас, Энцелад, Тетис, Диона, Рея, Титан, Япет	7 полных колец
Уран	Миранда, Ариэль, Умбриэль, Титания, Оберон	Кольца и их фрагменты
Нептун	Тритон	Кольца и их фрагменты

Таблица II

МАССЫ ГЛАВНЫХ ТЕЛ В КОСМИНТАХ (10^{24} кг) И ИХ ОТНОШЕНИЯ

	Уран	Нептун	Сатурн	Юпитер	Солнце
Масса центрального тела	86,83	102,43	568,4	1989	1 989 100
Суммарная масса планет	0,0091	0,0214	0,151	0,392	12,5554
Соотношение	9501	4786	3764	5073	158 425

ных мелких спутников и колец в семействах нет смысла суммировать: они не изменяют порядок величин и отношений. Конечно, малые косминты не сравнимы с Солнечной по массе центрального тела, но уподобление Солнца другим планетам-гигантам имеет прямой смысл. В четырех малых косминтах отношения принадлежат к одному порядку, для трех – близки, а для двух групп – Юпитера и Нептуна – почти совпадают. Соответственно, масса Юпитера превышает массу Нептуна в 19,42 раза, но и сумма масс его четырех спутников превышает массу единственного значимого спутника Нептуна – Тритона почти точно так же, в 18,55 раза. Столь точное соотношение при таких различных и неизвестно как собравшихся в космосе массах подталкивают нас к поиску других закономерностей.

Зависимость крупных тел косминт друг от друга заметна при сравнении плотности выделенных по этому признаку планет и их центральных газовых шаров. О чем свидетельствуют эти данные? Во-первых, о внутренней связи тел косминты. Чем массивней центральное тело косминты, тем плотнее ее спутники по сравнению с ней. И обратная зависимость: чем массивней и плотней планеты в косминте, тем менее плотно ее центральное тело – в нем больше газов. Во-вторых, можно предположить, что плотность всех тел – не изначально данный показатель, характеризующий небесное тело. С течением времени массы и плотности всех тел косминты изменялись, эволюционировали. Следовательно, если за геологическую историю масса и плотность планет возрастали, то в том и состояло их развитие. В-третьих – и это главное –

с течением времени нарастала разность между плотностью центрального тела косминты и плотностью ее планет. Нетрудно видеть, что все пять косминт разделены на три группы по дифференциации плотности планеты и центрального газового тела. Две косминты – Урана и Нептуна – наименее внутренне дифференцированы, здесь центральные тела и наиболее плотные планеты разошлись недалеко; первые приблизительно на 1/3 менее плотные, чем их большие спутники. Две другие косминты – Сатурна и Юпитера – прошли более долгий (или более интенсивный) путь дифференциации. Плотности центральных тел составляют уже примерно 36% от плотности планет. Солнечная косминта еще более развита: плотность светила снизилась примерно до 25% по сравнению с плотностью Земли.

Таблица III

РАЗНОСТЬ И ПРОЦЕНТНОЕ ОТНОШЕНИЕ ПЛОТНОСТЕЙ НАИБОЛЕЕ ПЛОТНЫХ ПЛАНЕТ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕЛ КОСМИНТ

1	2	3	4
Плотность планеты, г/см ³	Плотность газового центра, г/см ³	Разность плотностей	Процентное отношение (2 от 1)
Титания 1,71	Уран 1,27	0,44	74,2
Тритон 2,06	Нептун 1,64	0,43	79,6
Титан 1,88	Сатурн 0,68	1,20	36,2
Ио 3,59	Юпитер 1,32	2,25	36,7
Земля 5,52	Солнце 1,41	4,11	25,5

Плотность остальных тел космич. (неправильной формы спутников и скоплений мелких тел в кольцах) колеблется от 0,91 г/см³ до 2,9 г/см³. Этот однообразный скально-ледяной материал и дифференцируется в процессе оформления космич.: если плотность построенных из него планет растёт, то плотность газовых шаров с течением времени уменьшается.

Создается впечатление, что все космич. находятся (или застыли) на разных стадиях своего, одинакового развития. Все они проходили (или проходят сейчас) примерно один и тот же путь своей эволюции, развиваясь по одному сценарию. Выходит, что космич. – это не случайные объединения тел. С течением времени масса центральных газовых тел росла, при этом снижалась их плотность, а твердые сферические тела увеличивались по массе и уплотнялись. Следовательно, можно говорить о реальной истории космич. – о разном возрасте планет и всей космич. Всегда считалось, что вся Солнечная система образовалась сразу и возраст ее один и тот же – примерно 4,7 млрд лет. Однако если ее представить в виде космич., то каждая из них (и каждая планета) приобретет свою отдельную судьбу и реальный возраст.

Исходя из представления о возрасте или развитии космич., можно предложить сценарий закономерного их формирования.

ОБРАЗОВАНИЕ СТАНДАРТНОЙ КОСМИЧ.

Вернадский доказал, что геологическая история и биологическая эволюция – процессы сопряженные: одна без другой не идет. Биологическое время равно по длительности геологическому, – каждая планета проходит через биосферную стадию развития. Никакого другого целенаправленного развития, кроме биосферного (если не считать ноосферного), на планетном уровне не существует. Точнее сказать, с биологического уровня все начинается, биотой все иницируется и направляется. Если по каким-либо причинам биологическая эволюция останавливается, то заканчивается и геологическая история планеты, прекращается циркуляция и уплотнение ее материала. Все геологические процессы: седиментация, литогенез, вулканизм, тектоника, горообразование постепенно затихают. Поверхность планеты “успокаивается”, она начинает покрываться кратерами. Это общий процесс, но на Земле кратеров мало – они переработаны в биосфере, сглажены. По-

лучается, что кратерированность поверхности – это индикатор смерти биосферы в определенном геологическом возрасте; действующая биосфера всегда молода, возраст ее как оболочки колеблется около геологического нуля лет.

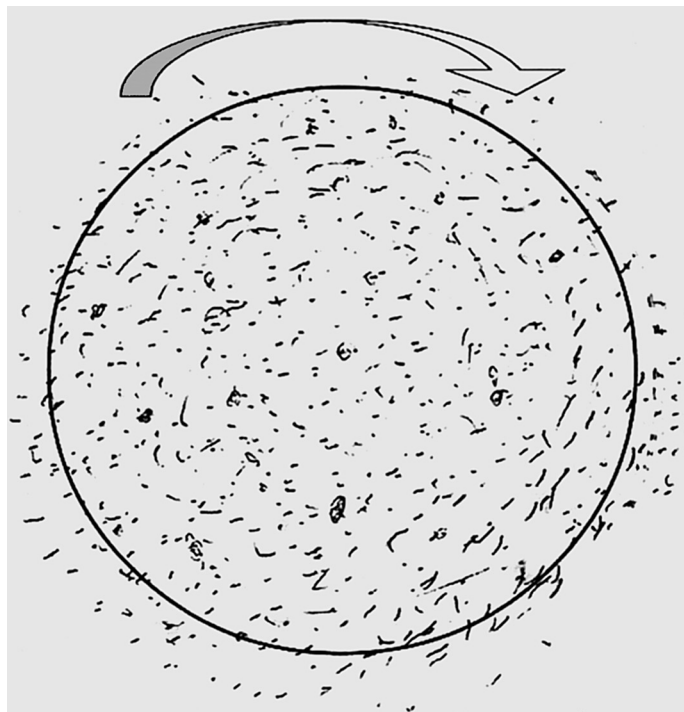
Здесь следует сказать о свойствах биосферы, описанных Вернадским. Среди всей биоты бактерии наиболее устойчивы и абсолютно приспосабливаются к любым химическим, термодинамическим и радиогеологическим условиям. На Земле они существуют на протяжении всего ее разведанного геологического времени. Вернадский открыл, что бактерии без участия других одно- и многоклеточных организмов способны составить систему: то есть выполнять все функции биосферы. Такой биосферы Земли и была на протяжении 5/6 или 6/7 своей известной истории; она состояла из одних бактерий.

Возникающая в космосе биосфера будет бактериальной, причем биота морфологически не изменяется: она эволюционирует как сообщество вместе с окружающей ее средой, заставляя ее изменяться. Важно еще, что такие биосферы могут быть самыми разнообразными – в зависимости от набора организмов. Должно выполняться только одно

условие: взаимное дополнение их функций, отходы жизнедеятельности одних организмов должны быть необходимы для других, иначе биосфера будет быстро отравлена и погибнет.

Итак, одинаковость кольцевого, непланетного материала в косминтах, с одной стороны, и разнообразие, индивидуальность оформленных планетных тел – с другой, могут свидетельствовать только об одном: *все планеты образовались при участии биосфер*. Другие силы в космосе способствуют только “усреднению” всех параметров тел, их разрушению. На каких-то этапах планеты развивались по одним биологическим, биогеохимическим и геологическим характеристикам, но с разными, индивидуальными отклонениями. *Из этого следует, что сами косминты, как системы образовывались по отдельности под влиянием одной или нескольких биосфер в системе.*

По наиболее простой схеме косминта должна была проходить следующие последовательные этапы: наличие колец у косминта говорит о том, что все они есть остатки первоначального диска.

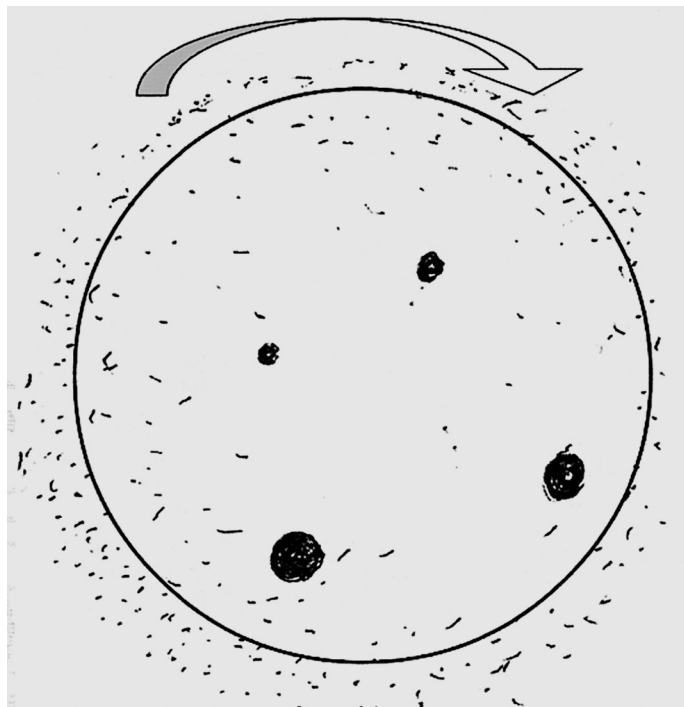


Под воздействием спиральных и других флуктуаций, центробежных и центростремительных сил, возникающих резонансов частицы в диске хаотически сталкиваются и “раскалываются”. С течением времени под действием приливных сил они распределяются по круговым орбитам приблизительно в плоскости вращения, образуя общий центр тяжести. Если нет никаких возмущений, то такой диск будет обращаться вокруг общего барицентра неопределенно долго, стремясь к однородному составу частиц. Они уменьшаются и в конце концов рассеиваются.

Однако если в диске есть крупные астеро-

иды (или некоторые из астероидов в процессе столкновений случайно и временно объединятся), то температура внутри них будет расти, что связано с постоянным радиоактивным распадом тяжелых атомов. Тогда обязательно возникнут области необходимого и достаточного “разогрева” для жизни. В результате могут образоваться благоприятные условия для биосинтеза литотрофных бактерий.

Существующие в космосе в латентном или в споровом состоянии хемолитотрофные бактерии, попавшие на теплое тело или уже бывшие на нем, могут – в отсутствие солнечного света и в присутствии воды –



Этап биосфер и формирования планет. Рисунок автора.

взаимодействии с биосферными бассейнами седиментации формируют слоистые оболочки. Планеты с биосферами в типичной косминте концентрируют большую часть ледяного и минерального вещества диска и перерабатывают его, разделяя на фазы. Биосфера посредством геосфер управляет остальными оболочками планеты, формирует их – как на Земле.

Большинство продуцируемых в окружающей среду газов биосферы образуют атмосферу вокруг планеты. Однако водород, как известно, улетучивается в космическое пространство. Вероятно, именно этот биосферный водород и накапливается в барицентре косминты, образуя газовый шар. Сейчас невозможно сказать (и это составляет главную загадку процесса образования косминты), каким образом улетающий с планеты водород направляется в центр диска? Мы имеем только факт: все газовые центры состоят преимущественно из водорода: Солнце – на 74%, Нептун – на 80%, Уран – на 83%, Юпитер – на 89% и Сатурн – на 96,3%. Кро-

начать делиться и образовывать локальные подповерхностные (подледные или подземные) биогеоценозы. Те тоже станут выделять тепло, что поведет к размягчению и плавлению льда. Именно плавление есть единственное условие устойчивой аккумуляции непрерывно падающих на тело обломков. Сталкивающиеся с астероидом тела примерно таких же масс перестанут его раскалывать, более мелкие соединятся с ним. Возникнет более крупное растущее тело – планетезималь. После достижения ею определенной массы возникает триггерный эффект: ее рост самоускоряется; она передвигается по

диску на свою орбиту, теплеет и все быстрее “выедаёт” окрестный материал, притягивая его. Наступает “катастрофический рост”: льды тают, образуя гидросферу.

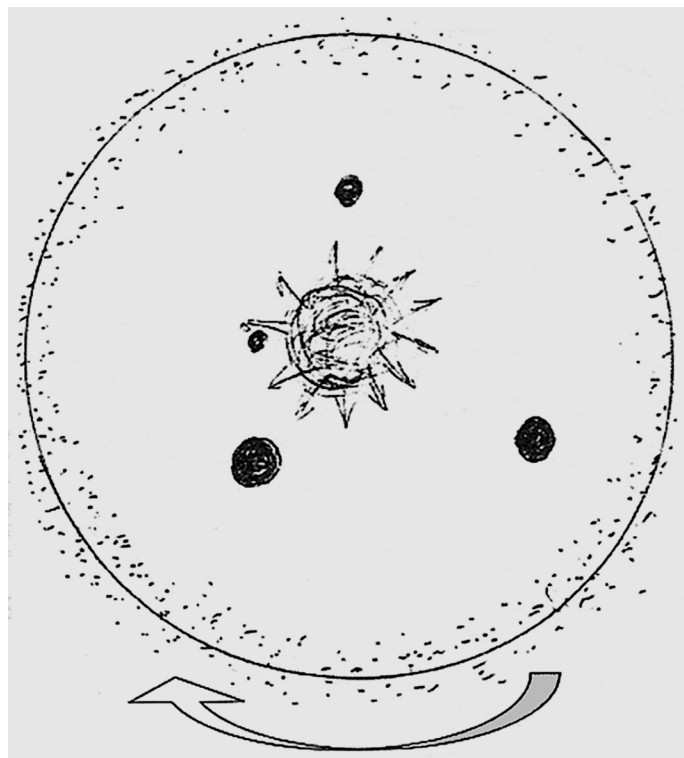
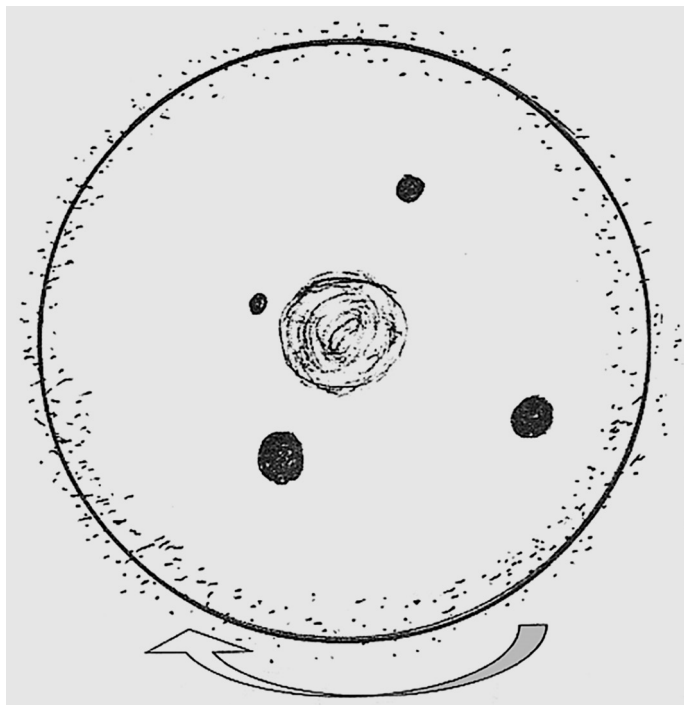
Газовая продукция биосферы создает атмосферу, которая еще более повышает температуру поверхности. Биосфера укрепляется, обогащается все новыми экологическими нишами, становится глобальной. Возникает тектоника, вулканизм, начинается бурная геологическая история. Вследствие равномерного налипания материала по всей поверхности формируется уже планета – сфероид. Гравитация и приливные силы вращения во

Этап формирования газового центра. Рисунок автора.

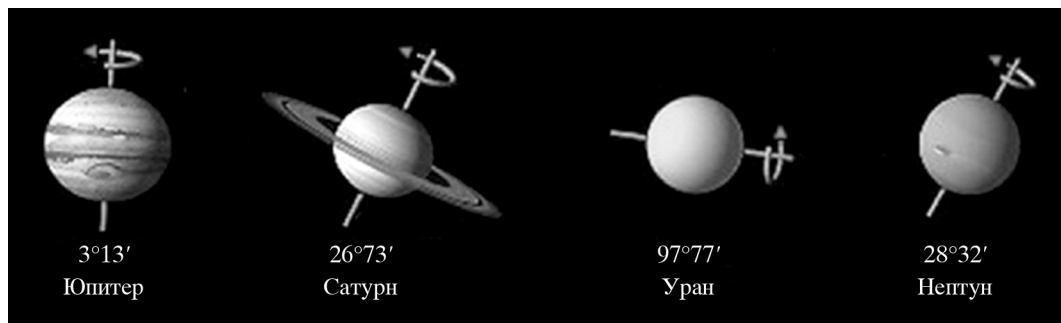
ме гравитационных сил, которых, может быть, недостаточно для формирования центрального тела, в космине, возможно, действуют электромагнитные силы: тогда ионы газа будут вести себя устойчиво и направленно. В верхних слоях Юпитера обнаружены ионы натрия, которые испускаются на Ио действующими там вулканами.

Масса газового шара, его размеры и химический состав будут зависеть от массы всего первоначального диска, но главным образом от продолжительности существования и работы биосферы: чем больше водорода в центре, тем ниже его плотность. Сатурн дает соотношение: 96,3% водорода соответствует плотности $0,68 \text{ г/см}^3$. Все остальные гиганты плотней, водорода в них меньше – значит, других газов и силикатного материала больше.

Представим себе диск, где материала достаточно. Планеты увеличиваются в размерах, биосферы “трудятся” и продолжают диссипировать водород. Его коли-



Стадия звезды. Рисунок автора.



чество в центре системы будет расти, вследствие гравитационного сжатия газ начнет разогреваться. Все газовые центры (даже самый далекий от Солнца – Нептун) имеют внутренний источник тепла. Вероятно, когда наступит критическая масса, то внутри газового центра начнется термоядерная реакция и газовый шар станет звездой.

Скорее всего, на этой стадии большинство биосфер в косминте погибают в результате теплового и радиационного давления вспыхнувшей звезды. Но если какая-либо из биосфер уцелеет, то вся косминта перейдет в стабильную стадию: образуется тесно сопряженная система звезда – биосфера, которая существует длительное время. Что мы и видим на примере системы Земля – Солнце. Если следовать этой логике – Земля продуцирует водород, он питает Солнце, поддерживая термоядерный гомеостаз и постоянство излучения.

В пользу данного сценария образования кос-

минт и их функционирования свидетельствуют некоторые имеющиеся факты, они же загадки, которые другим образом объяснить нельзя.

1. Если мы примем данную гипотезу (то есть первичность планетных тел и вторичность их газовых центров), то становится ясно, почему почти все планеты обращаются строго в плоскости экваторов центрального газового тела (исключение – Тритон). Планеты уже обращались вокруг барического центра системы, когда начал формироваться в ней газовый центр. Естественно, что их орбиты практически круговые и наклонены к плоскости вращения газового центра минимальны. Мелкие спутники обращаются по-разному: некоторые из них (как правило, внутренние) обращаются с “хорошими” элементами орбит, а внешние – разнообразно и по эксцентриситету, и по наклонам, что может свидетельствовать об их последующем захвате. Полезную информацию дают и кольца – по-

“Разные углы вращения косминт по отношению к плоскости эклиптики могут свидетельствовать об автономном образовании каждой из них”.

ставщики материала для планет косминт. Все они во всех системах обращаются согласно с планетами, образуя главную плоскость обращения. Это может свидетельствовать об их единстве в составе первоначального диска.

2. Отдельность формирования каждой косминты может быть объяснена тем, что каждая из них имеет свои наклоны к плоскости эклиптики и ни одна не обращается строго в согласии с ней. Самый экстремальный наклон – в косминте Урана, она обращается поперек плоскости.

3. Все периферические косминты и их газовые центры образовались вначале, а затем, в последнюю очередь, – Солнце; иначе трудно объяснить загадочное явление – предельно низкую величину момента импульса Солнца.

4. При крайне неопределенном ныне сценарии образования Солнечной системы (в любом из вариантов которого главным телом считается Солнце, а от него как бы “отпочковывались” планеты и другие тела) нельзя объяснить явную инверсию для космиче-ского Урана и Нептуна. Расположенный дальше Нептун получает тепла на-много меньше Урана, но он более развит; в его

космиче-ском Нептун и Тритон находятся в процес-се формирования, на них что-то происходит.

5. В последние годы от-крыты экзопланеты. Во времена формирования концепции Вернадского о планетной роли биосфе-ры об этом нельзя было и помыслить. Только те-перь становится ясна про-зорливость ученого-на-туралиста: он считал незыблемым эмпириче-ское обобщение шотланд-

ского геолога Джеймса Геттона, что геологиче-ские события есть глав-ные в космосе.

Из начавшегося “па-рада экзопланет” мож-но сделать предвари-тельный вывод о том, что звезд без планет не существует и про-цессы биосфер и гео-логических событий в космосе, действитель-но, – главные и решаю-щие для формирования его тел.

Информация

На Юпитер упал загадочный объект

Астрономы-любители часто наблюдают за плане-тами-гигантами и Марсом, записывая свои наблюдения на видеокамеры, подклю-ченные к телескопу. Срав-нение различных кадров, полученных в одно и то же время, позволяет отобрать наиболее четкие снимки. Проводя подобную опера-

цию 17 марта 2016 г., Гер-рит Кернбауэр (Австрия) совершил неожиданное от-крытие: примерно в пол-ночь по Гринвичу он стал свидетелем того, как яркий объект врезался в правую половину Юпитера, поро-див небольшую вспышку, заметную даже в 20-см телескоп. Вначале любитель сомневался, что ему уда-лось действительно уви-деть столкновение Юпитера с кометой или астероидом размером в несколько де-сятков метров; однако впо-следствии похожие снимки и видеокadres были опубли-кованы ирландским астро-номом Джоном Маккеоном. Подобные события не яв-

ляются чем-то необычным для планеты-гиганта (Зем-ля и Вселенная, 2009, № 6, с. 25; 2010, № 6, с. 53). По оценкам астронома Рикар-до Хуэсо Алонсо (Испания), от 12 до 60 небесных объек-тов диаметром 5–20 м бом-бардируют Юпитер ежегод-но. Изучение столкновений космических объектов с этой планетой может по-мочь астрономам лучше по-нять происхождение астеро-идов различных популя-ций, а также роль Юпитера в формировании структуры Солнечной системы.

По материалам интернет-сайтов, 17 марта 2016 г.

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: сентябрь – октябрь 2016 г.

Таблица I

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Сентябрь		
1	9	Новолуние
2	16	Нептун в противостоянии с Солнцем
3	11	Луна проходит в 0,5° севернее Венеры
6	17	Луна в апогее
8	22	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
9	11	Луна в первой четверти
12	23	Меркурий в нижнем соединении с Солнцем
16	19	Полнолуние
18	17	Луна в перигее
18	18	Венера проходит в 2,4° севернее звезды Спика (α Девы)
21	8	Меркурий переходит от попятного движения к прямому
22	14	Осеннее равноденствие
23	10	Луна в последней четверти
26	6	Юпитер в соединении с Солнцем
29	1	Меркурий в наибольшей западной элонгации (18°)
29	10	Луна проходит в 1° южнее Меркурия
Октябрь		
1	0	Новолуние
3	20	Луна проходит в 4° севернее Венеры
4	10	Луна в апогее
6	8	Луна проходит в 3° севернее Сатурна
9	4	Луна в первой четверти
11	9	Меркурий проходит в 0,8° севернее Юпитера
15	10	Уран в противостоянии с Солнцем
16	4	Полнолуние
17	0	Луна в перигее
22	19	Луна в последней четверти
26	13	Венера проходит в 3,1° севернее звезды Антарес (α Скорпиона)

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
27	16	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
28	10	Луна проходит в 1° севернее Юпитера
30	0	Венера проходит в 3,0° южнее Сатурна
30	17	Новолуние
31	19	Луна в апогее

Примечание. Во всех таблицах и в тексте дано Всемирное время (UT), кроме особо оговоренных случаев.

Таблица II

ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	α		δ		45°		55°		65°		
					Восход	Заход	Восход	Заход	Восход	Заход	
	ч	м	°	'	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	
Сентябрь	1	10	42	+ 08	17	05:23	18:41	05:07	18:57	04:40	19:24
	11	11	18	+ 04	34	05:35	18:22	05:26	18:31	05:11	18:46
	21	11	53	+ 00	43	05:47	18:03	05:45	18:05	05:41	18:09
Октябрь	1	12	29	− 03	11	05:59	17:44	06:04	17:40	06:11	17:32
	11	13	06	− 07	01	06:12	17:26	06:23	17:15	06:42	16:56
	21	13	43	− 10	41	06:25	17:08	06:43	16:50	07:13	16:20
	31	14	22	− 14	06	06:38	16:53	07:03	16:28	07:47	15:45

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время захода Солнца 3 октября 2016 г. в Москве (широта – 55°45', долгота – 2°30^м, 2-я часовая зона – московское время UT + 3^ч). Пользуясь таблицей II, интерполируем по широте значение времени захода Солнца на 3 октября, получаем 17^ч 34^м. Вычтем из него долготу места, прибавим 3^ч, получим 18^ч 04^м.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата		α		δ		m	D	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
		ч	м	°	'				45°	55°	65°	
Меркурий												
Сентябрь	1	11	48,7	−03	21	1,3	9,6	0,21	—	—	—	
	11	11	26,1	−00	30	4,8	10,5	0,02	—	—	—	
	21	11	02,3	+05	11	1,5	8,9	0,15	—	—	—	
Октябрь	1	11	27,3	+05	08	−0,8	6,6	0,60	1,1	1,2	1,3	Утро
	11	12	24,9	−00	37	−1,1	5,3	0,90	0,4	0,1	—	Утро
	21	13	27,8	−07	54	−1,3	4,8	0,99	—	—	—	
	31	14	30,1	−14	38	−1,3	4,6	1,00	—	—	—	

Таблица III (окончание)

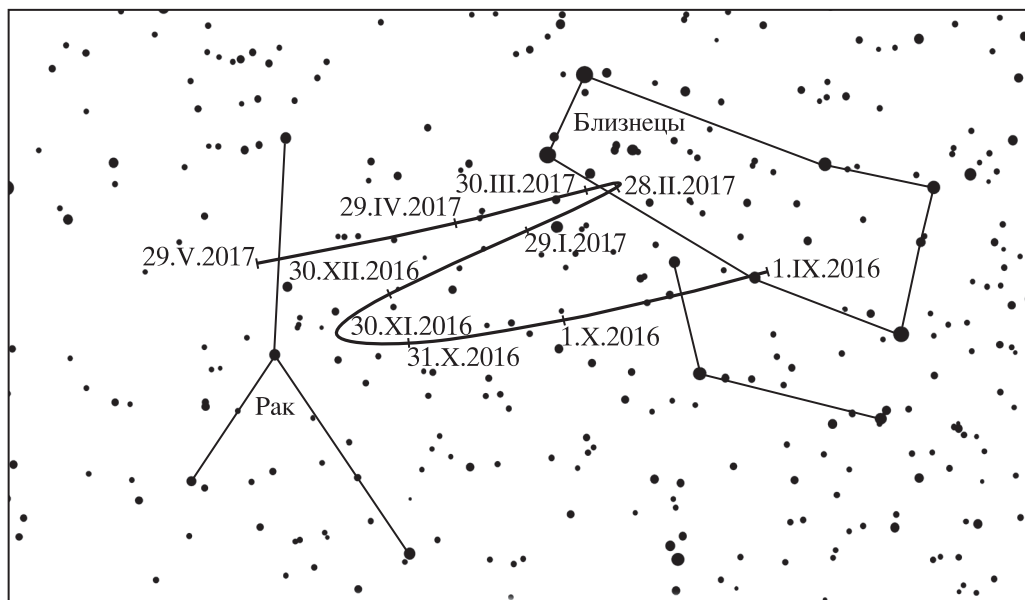
Дата		α		δ		m	D	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости
		ч	м	°	'				45°	55°	65°	
Венера												
Сентябрь	1	12	09,4	+00	07	−3,8	11,0	0,92	0,8	—	—	Вечер
	11	12	54,0	−05	01	−3,8	11,4	0,90	0,9	—	—	Вечер
	21	13	39,0	−10	00	−3,9	11,8	0,88	0,9	—	—	Вечер
Октябрь	1	14	25,3	−14	38	−3,9	12,2	0,86	1,1	—	—	Вечер
	11	15	13,2	−18	41	−3,9	12,8	0,83	1,2	0,2	—	Вечер
	21	16	03,0	−21	58	−3,9	13,4	0,81	1,5	0,7	—	Вечер
	31	16	54,6	−24	17	−4,0	14,0	0,78	1,7	1,1	—	Вечер
Марс												
Сентябрь	1	16	47,9	−25	09	−0,3	10,5	0,85	3,4	2,0	—	Вечер
	11	17	13,4	−25	39	−0,2	9,8	0,85	3,4	2,1	—	Вечер
	21	17	40,8	−25	54	0,0	9,3	0,85	3,5	2,2	—	Вечер
Октябрь	1	18	09,7	−25	49	0,1	8,8	0,85	3,6	2,5	—	Вечер
	11	18	39,6	−25	24	0,2	8,3	0,85	3,7	2,8	—	Вечер
	21	19	10,1	−24	35	0,3	7,9	0,86	3,9	3,1	—	Вечер
	31	19	40,9	−23	24	0,4	7,5	0,86	4,1	3,5	1,3	Вечер
Юпитер												
Сентябрь	1	11	54,3	+01	49	−1,5	30,8	1,00	—	—	—	
	11	12	02,1	+00	58	−1,5	30,6	1,00	—	—	—	
	21	12	10,0	+00	06	−1,5	30,5	1,00	—	—	—	
Октябрь	1	12	17,9	−00	45	−1,5	30,5	1,00	—	—	—	
	11	12	25,8	−01	36	−1,5	30,6	1,00	0,4	—	—	Утро
	21	12	33,7	−02	25	−1,5	30,9	1,00	1,4	1,6	1,8	Утро
	31	12	41,3	−03	14	−1,5	31,2	1,00	2,2	2,5	2,9	Утро
Сатурн												
Сентябрь	1	16	33,7	−20	24	0,5	16,7	1,00	3,3	2,1	—	Вечер
	11	16	35,2	−20	29	0,5	16,4	1,00	2,9	1,8	—	Вечер
	21	16	37,4	−20	36	0,5	16,2	1,00	2,6	1,6	—	Вечер
Октябрь	1	16	40,2	−20	43	0,5	15,9	1,00	2,3	1,3	—	Вечер
	11	16	43,5	−20	51	0,5	15,7	1,00	1,9	1,0	—	Вечер
	21	16	47,3	−20	59	0,5	15,6	1,00	1,5	0,7	—	Вечер
	31	16	51,5	−21	08	0,5	15,4	1,00	1,1	—	—	Вечер

Примечание. Координаты даны на момент 0^ч по Всемирному времени, F – фаза планеты.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий 12 сентября находится в нижнем соединении с Солнцем. 21 сентября ближайшая к Солнцу планета переходит от попятного движения к прямому. 29 сентября Меркурий в

наибольшей западной элонгации (18°), в эти же сутки Луна пройдет в 1° южнее планеты. Начинается его утренняя видимость. В период видимости (с 1 по 11 октября) блеск Меркурия уве-



Видимый путь на небесной сфере астероида Веста в сентябре 2016 г. – мае 2017 г.

личивается с $-0,8^m$ до $-1,1^m$, видимый угловой диаметр уменьшается с $6,6''$ до $5,3''$. В период видимости ближайшая к Солнцу планета перемещается сначала по созвездию Льва и 3 октября переходит в созвездие Девы. Продолжительность утренней видимости Меркурия достигает $1,1\text{--}1,3$ ч на всех широтах. 11 октября ближайшая к Солнцу планета проходит в $0,8^\circ$ севернее Юпитера, заканчивается его утренняя видимость. 27 октября Меркурий в верхнем соединении с Солнцем.

Венера в сентябре видна в южных районах нашей страны, продолжительность ее вечерней видимости увеличивается с $0,8$ ч 1 сентября до $1,7$ ч 31 октября. В средних широтах вечерняя видимость планеты начинается после 10 октября и к концу месяца достигает $1,1$ ч. В северных широтах Венера не видна. Утренняя планета постепенно становится ближе к Земле, ее видимый угловой диаметр увеличивается с $11''$ до $14''$, блеск немного растет с $-3,8^m$ до $-4,0^m$. Венера в сентябре переме-

щается по созвездию Девы, 30 сентября переходит в созвездие Весы, 18 октября – в созвездие Скорпиона и 25 октября окажется в созвездии Змееносца. 18 сентября утренняя планета пройдет недалеко от звезды Спика (α Девы), 26 октября – от Антареса (α Скорпиона) и 30 октября – вблизи Сатурна. Луна пройдет недалеко от Венеры 3 сентября и 3 октября.

Марс в начале сентября перемещается по созвездию Скорпиона, 3 сентября переходит в созвездие Змееносца и 22 сентября – в созвездие Стрельца. В северных широтах красную планету можно увидеть по вечерам только в самом конце октября. В средних и южных широтах вечерняя видимость Марса увеличивается с $2,0\text{--}3,4$ ч в начале сентября до $3,5\text{--}4,1$ ч в конце октября, постепенно он становится ближе к Солнцу. Марс удаляется от Земли, видимый угловой диаметр уменьшается с $10,5''$ в начале сентября до $7,5''$ в конце октября, блеск немного уменьшается: с $-0,3^m$ до $0,4^m$.

Юпитер 26 сентября в противостоянии с Солнцем. После 10 октября в южных широтах страны начинается утренняя видимость планеты-гиганта. 11 октября вблизи Юпитера можно увидеть Меркурий. С 20 октября планета-гигант находится в созвездии Дева и видна уже на всех широтах нашей страны, достигая 2,2–2,9 ч видимости к концу месяца. Видимый угловой диаметр Юпитера в начале видимости 31", блеск –1,5^м. Луна пройдет недалеко от планеты-гиганта 28 октября.

Сатурн в сентябре и октябре наблюдается в вечернее время суток в

средних и южных широтах нашей страны в созвездии Змееносца. Продолжительность его видимости постепенно сокращается: в средних широтах с 2,1 ч в начале сентября и пропадает в вечерних лучах Солнца в 20-х числах октября; в южных широтах с 3,3 ч в начале сентября до 1,1 ч в конце октября. Видимый угловой диаметр Сатурна сокращается с 16,7" до 15,4", блеск +0,5^м. 30 октября вблизи планеты-гиганта окажется Венера. Луна пройдет вблизи Сатурна 8 сентября и 6 октября.

АСТЕРОИД ВЕСТА

В созвездиях Близнецы и Рак окажется самый яркий на земном небе астероид – **Веста**. Вблизи противостояния в середине зимы 2016–2017 гг. его блеск превысит 7^м, что даст возможность наблюдателям увидеть его в небольшой бинокль.

Таблица IV

ЭФЕМЕРИДА ВЕСТЫ

Дата			α		δ		m
			ч	м	°	'	
Сентябрь	2016	1	07	01	20	47	8,4
Октябрь	2016	1	07	45	19	53	8,2
Октябрь	2016	31	08	17	19	04	7,9
Ноябрь	2016	30	08	32	19	19	7,4
Декабрь	2016	30	08	21	21	26	6,7
Январь	2017	29	07	50	24	26	6,5
Февраль	2017	28	07	30	26	05	7,1
Март	2017	30	07	37	26	08	7,6
Апрель	2017	29	08	07	24	55	7,9
Май	2017	29	08	50	22	31	8,1

*В.И. ЦИВЬЁВ
г. Балашиха,
Московская область*

Замерзшее озеро Плутона и его малые спутники

В очередном сеансе связи АМС «Новые горизонты» (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20; 2016, № 2, с. 106–107) передала данные, на основе которых сделано открытие замерзших озер на Плутоне. Оказалось, что миллионы или миллиарды лет назад благодаря повышенному давлению в атмосфере планеты и более теплым условиям на ее поверхности там могла быть жидкость, затем образовались аналогичные земным водоемы. Это происходило в тот период, когда орбита планеты приближалась к Солнцу. Выполненный с помощью фотокамеры LORRI во время пролета станции мимо Плутона 14 июля 2015 г. снимок разрешением до 130 м демонстрирует детали его ландшафта – на нем видны следы озер и рек. Одно из замеченных на

снимке образований похоже на замерзшую глыбу, некогда представлявшую собой озеро жидкого азота размером 30 км; оно расположено в горной местности, лежащей чуть севернее равнины Спутника. Сегодня, считают ученые, жидкий азот на планете все еще существует на километровой глубине под ее ледяным покровом.

Спутники Стикс, Никта, Кербер и Гидра (перечислены в порядке удаления от Плутона) вращаются вокруг барицентра системы примерно в плоскости орбиты Харона по близким к круговым орбитам на среднем расстоянии в 42 656 км, 48 694 км, 57 783 км и 64 738 км с орбитальными периодами 20,2; 24,9; 32,2 и 38,2 земных суток соответственно. Орбитальные периоды всех четырех спутников кратны орбитальному периоду Харона (6,4 земных суток) и находятся в орбитальном резонансе с ним – 3:4:5:6. Других спутников, крупнее 1,7 км, у Плутона не обнаружено. Правда, для орбит с большой полуосью (свыше 80 тыс. км) верхние пределы для размеров возможных, еще не открытых спутников, более мягкие. Диаметры Стикса, Никты,

Кербера и Гидры оцениваются в 7 км, 40 км, 10 км и 45 км.

Все четыре спутника Плутона имеют вытянутую форму и высокое альbedo, соответствующее водяному льду. Кербер выглядит состоящим из двух частей (подобно ядру кометы Чурюмова – Герасименко); возможно, он образовался в результате мягкого столкновения двух небольших спутников. Неправильная форма спутников и их ледяной состав (нетипичный для малых тел пояса Койпера), свидетельствует о том, что малые спутники Плутона сформировались около 4 млрд лет назад в результате колоссального столкновения, приведшего к образованию Плутона и Харона. Интересно, что все четыре малых спутника вращаются несинхронно, причем их оси вращения сильно наклонены (почти перпендикулярны!) к осям вращения Плутона и Харона. Это говорит о том, что приливные силы со стороны Плутона не оказывали существенного влияния на динамику малых спутников.

Пресс-релиз NASA,
29 марта 2016 г.

Квazarы замедляют звездообразование

Ученые из Университета Джона Хопкинса (США) под руководством доктора Д. Крихтона разрешили загадку, стоявшую перед астрономией многие годы: почему скорость звездообразования во Вселенной снизилась примерно 11 млрд лет назад? Выдвинута гипотеза, согласно которой причиной такого замедления звездообразования стала так называемая «обратная связь», или возврат

энергии квазаром в галактику, в которой происходит формирование звезд. Интенсивное излучение и звездные ветры галактического масштаба, испускаемые квазарами – самыми яркими объектами во Вселенной – нагревают газопылевые облака. Это тепло препятствует охлаждению материи и эволюции более плотных облаков, из которых формируются звезды. В ходе исследования проанализированы данные о 17 468 галактиках, обнаружен эффект Сюняева – Зельдовича (изменение интенсивности радиоизлучения реликтового фона из-за обратного эффекта Комптона на горячих электронах межзвездного и межгалактического газа). Это явление,

названное в честь двух советских физиков, предсказавших его примерно 50 лет назад, наблюдается, когда высокоэнергетические электроны возмущают космический микроволновый фон – послесвечение, наполняющее всю Вселенную и оставшееся в ней после Большого взрыва. Данная гипотеза выдвинута на основе информации о квазарах, полученной Слоуновским цифровым обзором неба (DSS-2). Тепловая энергия и доказательство наличия эффекта Сюняева – Зельдовича были обнаружены с помощью радиointерферометра Атакамского космологического телескопа (ALMA) в Чили.

Пресс-релиз NASA,
24 марта 2016 г.

«Кассини»: горы на Титане

АМС «Кассини» обнаружила самый высокий горный пик на поверхности крупнейшего спутника Сатурна Титана – 3337 м. Он находится внутри горной системы, состоящей из трех цепей гор Митрим (Mithrim Montes) в области Ксанаду (Xanadu), расположенных недалеко от места посадки 14 января 2005 г. спускаемого аппарата «Гюйгенс»

(ESA; Земля и Вселенная, 1998, № 3, с. 48–51; 2005, № 3, с. 105–107). В пределах горной системы Митрим обнаружены также еще несколько пиков примерно той же высоты, а также большое число одиночных горных пиков. Планетологи изучали инфракрасные карты и радарные изображения крупнейшего спутника Сатурна. Как оказалось, большинство высоких гор на Титане расположено вблизи экватора. Наличие на Титане гор говорит о продолжающейся тектонической активности. Как и на Земле, на нем дуют ветры и идут дожди; они постепенно разрушают горы и засыпают низменности, делая рельеф более сглаженным. Несмотря на активную эрозию, на этом небесном теле зафиксирован значительный перепад высот.

Твердая ледяная кора Титана «плавает» поверх слоя соленой воды, подобно тому, как земная кора «лежит» на слое пониженной вязкости, в верхней мантии. Медленное движение ледяных блоков, вызываемое приливными силами со стороны Сатурна или замерзанием и расширением подледного океана, приводит к росту гор. Однако полного понимания, как происходит горообразование на Титане, до сих пор нет.

Пресс-релиз NASA,
25 марта 2016 г.

47-я основная экспедиция на МКС

2 марта 2016 г. спускаемый аппарат КК «Союз ТМА-18М» с экипажем 46-й основной экспедиции (МКС-46; Земля и Вселенная, 2016, № 2, с. 100–101) в составе командира корабля С.А. Волкова вместе с

участниками годовой экспедиции М.Б. Корниенко и С. Келли (США) благополучно приземлился в 147 км северо-восточнеег. Джезказган (Казахстан). М.Б. Корниенко и С. Келли установили рекорд длительности полета на станции – 340 сут 09 ч, С.А. Волков работал на МКС в течение 181 сут 23 ч 47 мин. Экипаж МКС-46 полностью выполнил программу научно-прикладных исследований.

19 марта 2016 г. с космодрома Байконур стартовала РН «Союз-ФГ» с КК

«Союз ТМА-20М». Это 127-й пилотируемый полет корабля серии «Союз». На борту «Союза ТМА-20М» находился экипаж 47-й основной экспедиции на МКС: командир корабля А.Н. Овчинин (Россия), бортинженер-1 О.И. Скрипочка (Россия) и бортинженер-2, командир МКС-48 Дж. Уильямс (США). Через 5 ч 44 мин успешно осуществлена стыковка в автоматическом режиме с модулем «Поиск» (МИМ-2). Этот экипаж будет работать в течение 173 сут, до 8 сен-



Экипажи 46/47-й основных экспедиций на МКС: О.И. Скрипочка (Россия), Дж. Уильямс (США), А.Н. Овчинин (Россия), Т. Пик (ESA, Великобритания), Т. Копра (США), Ю.И. Маленченко (Россия). Фото NASA.

тября 2016 г. Дж. Уильямс выполняет четвертый полет, О.И. Скрипочка – второй, А.Н. Овчинин – первый.

Алексей Николаевич Овчинин (548-й астронавт мира, 120-й космонавт России) родился 28 сентября 1971 г. в Рыбинске Ярославской области. В 1988–1990 гг. обучался в Борисоглебском высшем военном авиационном училище летчиков, в 1992 г. окончил Ейское высшее военное авиационное училище летчиков по специальности летчик-инженер. До 1998 г. служил летчиком-инструктором учебно-авиационного полка, до 2003 г. – летчиком-инструктором и командиром авиационного звена Краснодарского военного авиационного института; до 2006 г. проходил службу в качестве командира авиационного звена 70-го Отдельного испытательного тренировочного авиационного полка особого назначения им. В.С. Серёгина ЦПК; подполковник в запасе. В 2006 г. зачислен в отряд космонавтов ЦПК им. Ю.А. Гагарина.

Олег Иванович Скрипочка (515-й астронавт мира, 107-й российский космонавт) родился 24 декабря 1969 г. в г. Невинномысске Ставропольского края. Во время учебы в школе занимался в Запорожском экспериментальном отряде юных космонавтов им. В.М. Комарова. В 1993 г. окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Летательные аппараты». Будучи студентом, проходил производ-

ственную практику в НПО «Энергия», в 1987–1991 гг. был слесарем-испытателем завода экспериментального машиностроения, а затем – техником в проектно-отделе. Здесь он остался работать после окончания МГТУ в 1993 г. в качестве инженера по разработке и эксплуатации наземного оборудования для пилотируемых и грузовых кораблей. В 1997 г. зачислен в отряд космонавтов РКК «Энергия». В октябре 2010 г. – марте 2011 г. выполнил полет на КК «Союз ТМА-01М» и МКС по программе МКС-25/26 продолжительностью 159 сут. Совершил три выхода в открытый космос общей длительностью 16 ч 39 мин.

Джеффри Уильямс (Jeffrey N. Williams; 396-й астронавт мира, 248-й астронавт США) родился 18 января 1958 г. в г. Сьюпириор (штат Висконсин). В 1980 г. получил степень бакалавра (прикладная наука и техника) в Военной академии США. В 1981 г. стал летчиком Армии США, в 1981–1984 гг. служил в Западной Германии в качестве командира взвода авиаразведчиков. В 1987 г. получил степень магистра наук по авиационной технике и степень авиаинженера в аспирантуре ВМС США. В 1987–1991 гг. работал инженером и пилотом на тренажере КК «Спейс Шаттл» в Лаборатории интеграции авионики Космического центра им. Л. Джонсона. В 1992–1993 гг. проходил подготовку в школе лет-

чиков-испытателей ВМС США, в 1993–1995 гг. служил летчиком-испытателем, а затем – руководителем Отделения летных испытаний на авиабазе Эдвардс. В 1996 г. получил степень магистра искусств (национальная безопасность и стратегические исследования) на командно-штабных курсах Военно-морского колледжа; полковник Армии США в отставке. Общий налет составляет более 2500 ч на более, чем 50 различных типах самолетов. В 1996 г. зачислен в отряд астронавтов NASA. Совершил три космических полета: в мае 2000 г. общей длительностью 9 сут 20 ч в качестве специалиста полета КК «Атлантис» (STS-101), в марте – сентябре 2006 г. общей длительностью 182 сут 22 ч 43 мин на КК «Союз ТМА-8» и на МКС в качестве бортинженера МКС-13, в сентябре 2009 г. – марте 2010 г. общей длительностью 169 сут 04 ч на КК «Союз ТМА-16» и на МКС в качестве командира МКС-22. Выполнил три выхода в открытый космос общей продолжительностью 19 ч 14 мин.

В программу МКС-47/48 включены прием КК «Союз МС-1 и МС-2», «Прогресс МС-3 и МС-4», американских частных грузовых кораблей «Дрегон» и «Сигнус»; выполнение 60 экспериментов по семи направлениям, из них: 19 – человек в космосе» (в основном, медицина), 13 – технологии освоения космоса, 11 – космическая биология

Ф.СП-I	АБОНЕМЕНТ												70336 (индекс издания)
	на <u>газету</u> на <u>журнал</u>												
	Земля и Вселенная (наименование издания)												Количество комплектов
	на ____ год по месяцам:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Куда												
	(почтовый индекс)						(адрес)						
	Кому												
	(фамилия, инициалы)												
	ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА												70336 (индекс издания)
	на <u>газету</u> на <u>журнал</u>												
	Земля и Вселенная (наименование издания)												Количество комплектов
	на ____ год по месяцам:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Куда												
	(почтовый индекс)						(адрес)						
	Кому												
	(фамилия, инициалы)												

и биотехнология, 7 – исследование Земли из космоса, образование и популяризация космических исследований, 2 – физико-химические процессы и материалы, 1 – по контракту.

В марте – июне 2016 г. на борту МКС работала 47/48-я основная экспедиция: Ю.И. Маленченко, А.Н. Ов-

чинин, О.И. Скрипочка (Россия), Т. Копра, Дж. Уильямс (США) и Т. Пик (ESA, Великобритания). Посадка экипажа МКС-46 в составе Ю.И. Маленченко, Т. Копры и Т. Пика произошла 18 июня 2016 г. На 7 июля 2016 г. намечен старт КК «Союз МС-1» с экипажем МКС-48, в составе экс-

педиции – А.С. Иванишин (Россия), К. Рубенс (США) и Т. Ониси (Япония). 30 сентября 2016 г. планируется запустить КК «Союз МС-2» с экипажем МКС-49 – А.И. Борисенко, С.Н. Рыжиковым (Россия) и Р. Кимбро (США).

По материалам Роскосмоса, ЦУП-М и NASA

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”
(II полугодие 2016 г.) во всех отделениях связи.
Подписаться можно и по интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте Почта России.
Подписной индекс – 70336.*

Заведующая редакцией Л.В. Рябцева
Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин
Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина
Оператор ПК Н.Н. Токарева
Корректор Т.И. Шеповалова
Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 10.05.2016. Подписано в печать 26.06.2016. Дата выхода в свет 23.07.2016

Формат $70 \times 100^{1/16}$ Цифровая печать
Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отт. 2,5 тыс. Бум.л. 3,5
Тираж 263 Зак. 284 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Адрес редакции: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Телефон: (495) 276-77-28 доб. 42-31

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» (Типография «Наука»)

121099 Москва, Шубинский пер., 6

